

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики  
 Отделение Электроэнергетики и электротехники  
 Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
 Профиль «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>ЭЛЕКТРОПРИВОД И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА ЭКСКАВАТОРА ЭШ 20/90</b>

УДК 62-83-523.621.879

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Лещик Алена Валерьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	д.т.н., профес- сор		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.	д.т.н., профес- сор		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Отделение электроэнергетики и электротехники	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭЭ ИШЭ	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., Доцент		

**Запланированные результаты обучения  
профессиональные и общекультурные компетенции  
по основной образовательной программе подготовки бакалавров  
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,  
«Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»**

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
<b>Р 1</b>	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электроэнергетических систем и электрических сетей.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 2</b>	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетических систем и сетей, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 3</b>	Уметь проектировать электроэнергетические системы и электрические сети.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-3, ПК-4, ПК-9), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 4</b>	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов электрических сетей энергосистем, а также энергосистемы в целом, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-12, ПК-14, ПК-15), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 5</b>	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетических систем и электрических сетей.	Требования ФГОС (ОПК-2, ПК-11, ПК-13, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 6</b>	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической отрасли, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ПК-17), <i>CDIO Syllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Универсальные</i>		
<b>Р 7</b>	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетических систем.	Требования ФГОС (ПК-20, ПК-19, ПК-21), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 8</b>	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в области электрических сетей энергосистем.	Требования ФГОС (ОК-5, ОПК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 9</b>	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетических систем и сетей.	Требования ФГОС (ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 10</b>	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-5, ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 11</b>	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетических систем и сетей с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-8, ОК-9, ПК-3, ПК-4, ПК-10), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 12</b>	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетических систем и сетей.	Требования ФГОС (ОК-7, ОК-8), <i>CDIO Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики  
 Отделение Электроэнергетики и электротехники  
 Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
 Профиль «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ОЭЭ ИШЭ  
 \_\_\_\_\_ Дементьев Ю.Н.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Лещик Алена Валерьевна

Тема работы:

<b>ЭЛЕКТРОПРИВОД И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА ЭКСКАВАТОРА ЭШ 20/90</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.02 2018г. № 645/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.2018
--	-----------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Спроектировать электропривод механизма подъема экскаватора ЭШ 20/90 с напряжением питающей сети 380 В; частотой питающей сети 50 Гц; допустимыми отклонениями питающей сети от номинальных значений +10%,-15%; характером нагрузки-реактивной; работой в повторно-кратковременном режиме (S3) с переменной нагрузкой; временем реверсирования не более 5с; допустимой перегрузкой двигателя в переходных режимах <math>I_{\text{МАКС}}/I_{\text{НОМ}}=2,5A</math></p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Расчет и выбор силового оборудования для электропривода подъема одноковшового экскаватора ЭШ20/90; исследовать статические и динамические характеристики двухконтурной системы автоматического регулирования электропривода экскаватора; провести расчет сметы затрат и мероприятий для реализации НИР; необходимые мероприятия для обеспечения БЖД при работе на установке.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Калмыкова Екатерина Юрьевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Панин Владимир Филиппович</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Все разделы выпускной квалификационной работы написаны на русском языке.</p>	

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Д.Т.Н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Лещик А.В.		

## РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 87 страниц, 19 рисунков, 23 таблицы, 19 используемых источников, 10 приложений, 20 листов в виде презентации слайд-шоу.

ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, ОДНОКОВШОВЫЙ ЭКСКАВАТОР, ПРИВОД МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА, РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ, МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ.

Объектом исследования является электропривод механизма подъема экскаватора.

Цель работы - исследование электропривода механизма подъема экскаватора в соответствии с требованиями технического задания и исследования его работы методом моделирования.

В данной работе произведен расчёт и выбор силового оборудования для электропривода механизма подъема одноковшового экскаватора ЭШ 20/90. Для управления электроприводом принята двухконтурная система автоматического регулирования с последовательной коррекцией.

В ходе работы был разработан электропривод, обеспечивающий следующие показатели качества:

- Плавность пуска;
- Точность регулирования;
- Надёжность электропривода.

Дипломная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013, а также редакторе формул MathType, графическом редакторе Microsoft Visio 2013, статическом редакторе Microsoft Excel 2013. Расчёты производились с помощью пакета прикладных программ MathCAD 15. Моделирование произведено в программной среде MATLAB Simulink. Презентация в программной среде Microsoft PowerPoint 2013. В работе рассмотрены вопросы технической и экологической безопасности проекта, проведено технико-экономическое обоснование выполненного проекта.

Оглавление	
Введение.....	9
Обзор литературы.....	11
1. Основы проектирования автоматизированного электропривода механизма подъема ЭШ 20/90.....	12
1.1. Общие требования к электроприводу механизма подъема .....	12
1.2. Экскаваторные механические характеристики.....	13
2. Выбор электрооборудования. Проверка электродвигателей по скорости, мощности и нагреву .....	19
2.1. Система пуска агрегата и возбуждения приводного синхронного двигателя экскаватора ЭШ 20/90.....	19
2.2. Проверка электродвигателя по мощности и техническим условиям .....	21
2.3. Определение нагрузок механизма подъема.....	22
2.4. Определение скорости вращения двигателей .....	25
3. Выбор генератора. Расчетные параметры электродвигателя и генератора механизма подъема .....	30
3.1. Якорная цепь системы генератор-двигатель электропривода.....	32
3.2. Расчет параметров якорной цепи системы генератор-двигатель.....	33
3.3. Предельная область работы электропривода.....	33
3.4. Выбор тиристорного преобразователя возбуждения генератора.....	34
3.5. Выбор тиристорного преобразователя возбуждения двигателя .....	36
4. Система управления электропривода механизма подъема.....	39
4.1. Синтез линеаризованной САУ РЭП.....	39
4.2. Оптимизация контура тока в двухконтурной САУ электропривода по системе ТПВГ - Д.....	40
4.3. Оптимизация контура напряжения .....	43

4.4. Оптимизация контура возбуждения двигателя .....	44
4.5. Статические характеристики электропривода механизма подъема .....	46
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	49
5.1. Планирование научно-исследовательских работ.....	49
5.2. Разработка графика проведения научного исследования .....	50
5.3. Смета научно-технического исследования (НТИ).....	53
5.4. Формирование сметы затрат научно-исследовательского проекта.....	58
6. Безопасность и экологичность проекта .....	59
6.1. Анализ опасных и вредных факторов .....	59
6.2. Производственная санитария.....	65
6.3. Пожарная безопасность .....	69
6.4. Охрана окружающей среды .....	70
6.5. Защита в чрезвычайных ситуациях .....	72
Заключение .....	75
Список используемой литературы .....	76
Приложение 1 .....	78
Приложение 2 .....	79
Приложение 3 .....	80
Приложение 4 .....	81
Приложение 5 .....	82
Приложение 6 .....	83
Приложение 7 .....	84
Приложение 8 .....	85
Приложение 9 .....	86
Приложение 10 .....	87



## **Введение**

В настоящее время прогрессивным и экономичным способом добычи полезных ископаемых является открытый способ, при котором производительность труда в несколько раз выше, а себестоимость ниже, чем при подземной разработке месторождений.

Наиболее трудоемким процессом при открытом способе разработки полезных ископаемых являются вскрышные работы, поэтому их механизации уделяется особое внимание. Основным средством механизации на карьерах и угольных разрезах являются одноковшовые экскаваторы, как наиболее удовлетворяющие требованиям работы в самых тяжелых горно-геологических условиях.

Рабочий цикл одноковшового экскаватора складывается из четырех последовательных операций: наполнения ковша (черпания), перемещения его к месту разгрузки (транспортирования), разгрузки и перемещения порожнего ковша к месту зачерпывания для воспроизведения нового цикла. Поэтому одноковшовые экскаваторы являются машинами циклического (прерывного) действия. В связи с этим на двигатель одноковшового экскаватора может прилагаться больший износ, в связи с частыми реверсами и другими манипуляциями.

К данному типу машин относятся шагающие экскаваторы (драглайны).

Шагающие экскаваторы-драглайны ЭШ-20/90 используются при добыче полезных ископаемых открытым способом, основное применение нашли при бестранспортной системе разработки месторождений открытым способом. Шагающие экскаваторы составляют около 30% парка одноковшовых экскаваторов в стране. В данной работе рассмотрено электрооборудование одного из распространённых представителей данного класса – это драглайн ЭШ 20/90.

В работе ставились следующие задачи:

- Выбрать электрооборудование для экскаватора ЭШ 20/90;
- Выявить достоинства и недостатки данной машины;
- Провести моделирование динамических режимов;
- Провести анализ полученных результатов.

Исследование данного экскаватора является актуально в связи большим количеством используемых таких экскаватор и по сей день, но система Г-Д является довольно дорогостоящим в обслуживании, а щеточно-коллекторный узел может сломаться из-за перегрузок. Поэтому целью работы является обоснование использования данной системы, приводящей в движение всю систему.

## **Обзор литературы**

Основными источниками информации являются статьи [2],[4], и [5].

По источнику [2] (Н.Н.Чулков «Расчет приводов карьерных машин») были выбраны структурные схемы контура тока, напряжения, и контура возбуждения двигателя.

По источнику [4] (Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. «Проектирование автоматизированных тиристорных приводов постоянного тока») производился выбор трансформатора, его расчет, расчет генератора, и построение его кривой намагничивания.

По источнику [5] (Панкратов С.А. «Конструкция и основы расчета главных узлов экскаваторов и кранов») был выбран способ ограничения момента электропривода стопорным значением момента путем автоматического воздействия на систему управления.

## **1. Основы проектирования автоматизированного электропривода механизма подъема ЭШ 20/90**

Шагающий экскаватор ЭШ 20/90 изготовлен Уральским заводом тяжелого машиностроения ОАО «Уралмаш». ЭШ 20/90 с ковшем вместимостью 20м<sup>3</sup> и длиной стрелы 90м является сложной крупногабаритной вскрышной машиной с рабочим оборудованием драглайна, имеет рабочую массу 1710 тонн. За 4 главных движения экскаватора отвечает механизм поворота, состоящий из четырех одинаковых симметрично расположенных вертикальных установок. Каждая установка состоит из двигателя МПВЭ 400 - 400, установленного на стойке, являющейся одновременно корпусом тормоза. Общий вид экскаватора приведен в приложение 1.

Экскаватор предназначен для использования в горнодобывающей промышленности для выемки грунтов до IV категории включительно (по шкале "Единых норм выработки на открытых горных работах") на вскрышных работах по бестранспортной системе с укладкой породы в выработанное пространство или на борт траншеи. При разработке грунтов III и IV категорий требуется соответственно частичное или сплошное рыхление взрыванием[1].

В приложении 2 приведены технические данные данного экскаватора.

### **1.1. Общие требования к электроприводу механизма подъема**

Общие требования к электроприводу механизма подъема ЭШ 20/90:

- Обеспечение заданного технологического процесса и требуемой производительности.
- Обеспечение требуемых условий пуска и торможения, а также реверсирования и регулирования скорости.
- Ограничение перегрузок, динамических и ударных.
- Автоматическое управление от заданных величин.
- Требование по надежности (время наработки на отказ).

- Требование по конструктивной защищенности электрооборудования (степени защиты оболочек), по условиям окружающей среды, климатическому исполнению.
- Экономические показатели: стоимость электропривода и затраты электроэнергии на его работу.
- Экологические требования: уровень шума и ограничение влияния электропривода на питающую сеть (искажение, вызванное высшими гармониками тока).
- Параметры электроснабжения (величина напряжения, частоты, допустимые отклонения) [2].

## **1.2. Экскаваторные механические характеристики**

Важнейшим требованием, предъявляемым к электроприводу основных механизмов экскаватора, является необходимость ограничения момента электропривода при механических перегрузках и резких стопорениях допустимой величиной. Допустимое значение нагрузки определяется условиями работы механического оборудования, или допустимой перегрузкой электродвигателей. Максимально допустимое значение момента экскаваторного электропривода принято называть стопорным моментом  $M_{\text{стоп}}$ . Ограничение момента электропривода стопорным значением во всех режимах может быть достигнуто двумя принципиально различными способами:

- механическим путем за счет введения в кинематическую цепь механизма звена с ограниченным предельно передаваемым моментом;
- путем ограничения предельным значением момента, развиваемого электроприводом при любой нагрузке на валу.

При механическом способе ограничения момента наиболее употребительными ограничивающими элементами являются муфты предельного момента и фрикционы с ограниченным значением предельно передаваемого момента. Этот способ является основным при групповом приводе механизмов, применяемом на универсальных экскаваторах-кранах, где муфты сцепления являются единственным средством индивидуального управления каждым механизмом.

Важнейшим достоинством механического способа ограничения момента является разобщение привода и механизма при возникновении нагрузок, превышающих стопорное значение. Это особенно важно при резких стопорениях: ковш и жестко связанная с ним часть рабочего оборудования и передач вплоть до ведомой части муфты предельного момента застопориваются, а привод продолжает работать с нагрузкой на валу, равной стопорному моменту, передаваемому муфтой. Соответственно кинетическая энергия, запасенная во вращающихся массах привода, при стопорениях остается практически неизменной и не влияет на динамические нагрузки в рабочем оборудовании. Необходимо учитывать, что при индивидуальном электроприводе механизмов подъема и тяги основную долю в суммарном приведенном моменте инерции системы занимает момент инерции двигателей. Поэтому разобщение привода и механизма, при резких стопорениях ковша в значительной степени снижает динамические нагрузки в рабочем оборудовании[3].

Однако применительно к экскаваторам средней и большой производительности механический способ ограничения момента обладает значительными недостатками. При средней и большой мощности привода габариты фрикционных велики, частые стопорения и перегрузки вызывают их нагревание и быстрый износ. Переходные процессы пуска, реверса и торможения механизма сопровождаются значительными потерями при пробуксовывании муфты, что вызывает дополнительный нагрев и износ, а также повышает расход энергии на кубометр вынутого грунта. Поэтому этот метод в качестве основного средства ограничения момента применения не находит.

Другой способ является основным средством защиты от опасных нагрузок как механизма, так и двигателей. Ограничение момента электропривода обеспечивается автоматическим воздействием на систему управления.

Основным рабочим средством ограничения момента электропривода основных механизмов экскаватора является формирование так называемой экскаваторной механической характеристики электропривода (см. рисунок 1). Этот

способ лежит в основе всех применяемых систем индивидуального электропривода основных механизмов экскаваторов.

Для того чтобы электропривод при нормальных статических нагрузках развивал требуемую рабочую скорость, а при механических перегрузках обеспечивал ограничение момента, необходима специальная форма механической характеристики. В пределах изменения нагрузки от нуля до нормальной рабочей нагрузки (например, при подъеме груженого ковша) желательно иметь стабильную рабочую скорость механизма, т. е. соответствующий участок механической характеристики должен иметь высокую жесткость. В зоне перегрузок желательно значительное снижение скорости вплоть до нуля при нагрузке, равной стопорному значению. В статическом режиме такая характеристика обеспечивает ограничение момента при перегрузках.

Форму экскаваторной характеристики принято оценивать величиной коэффициента заполнения

$$k_{зап} = \frac{m_n m_M S_x}{n_0 M_{стоп}}$$

где  $m_n$ ;  $m_M$  - масштабные коэффициенты соответственно по оси  $n$  и по оси  $M$ , (об/мин)/мм, кГм/мм;  $S_x$  - площадь, ограниченная осями координат и механической характеристикой, мм<sup>2</sup>.

Из приведенного выражения следует, что коэффициент заполнения равен отношению площади, ограниченной характеристикой и осями координат, к площади, ограниченной идеальной (прямоугольной) экскаваторной характеристикой (на рисунке 1 показана пунктирной линией 5).

Заполнение экскаваторной характеристики часто оценивают также с помощью коэффициента отсечки  $k_{отс}$ :

$$k_{отс} = \frac{M_{отс}}{M_{стоп}}$$

где  $M_{отс}$  - граничное значение момента между жестким рабочим участком экскаваторной характеристики и ее падающим участком.

Очевидно, что для идеальной характеристики  $k_{зап} = 1$  и  $k_{отс} = 1$ .

Для приводов всех копающих механизмов (подъема и тяги драглайна) при проектировании и наладке выбираются относительно невысокие коэффициенты отсечки. Чем более тяжелыми являются условия ограничения момента при stopорениях, тем меньше требуемое заполнение экскаваторной характеристики. Так, для механизмов подъема принимают  $k_{отс} = 0,75 - 0,85$  (кривая 1 на рисунке 1), а для механизма тяги  $k_{отс} = 0,6 - 0,7$  (кривая 2 на рисунке 1), причем меньшие значения соответствуют карьерным экскаваторам. Эти требования вытекают из особенностей работы экскаватора при копании: машинист должен чувствовать по заметному снижению скорости увеличение загрузки механизма и вовремя предотвращать его возможное stopорение.

При высоком заполнении характеристики переход к быстрому снижению скорости даже при перегрузках в нормальном режиме копания является для машиниста неожиданным, и вероятность stopорений увеличивается. Слишком частые stopорения увеличивают продолжительность копания, снижают производительность экскаватора и увеличивают нагрев электрических машин.

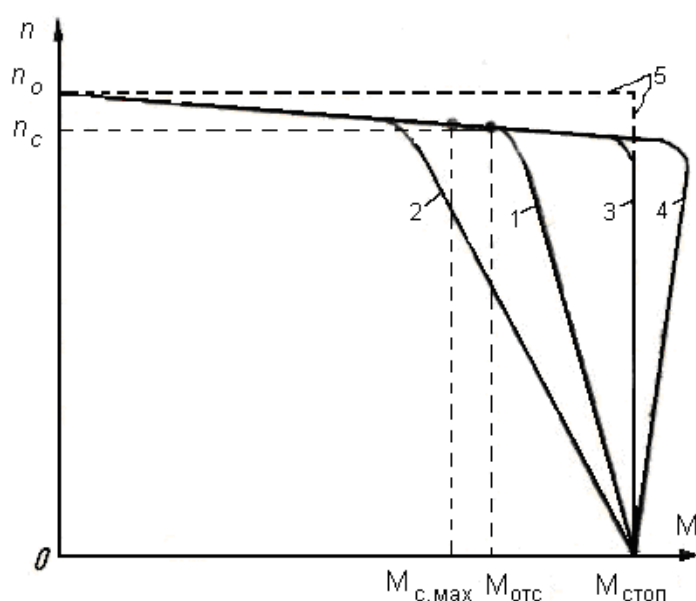


Рисунок 1. Экскаваторные механические характеристики

Экскаваторная характеристика электроприводов копающих механизмов является необходимым, но недостаточным условием ограничения момента. При неблагоприятных динамических свойствах системы электропривода в режимах



резких стопорений возможно возникновение пиков момента, значительно превышающих стопорное значение, соответствующее статической экскаваторной характеристике.

Вероятность возникновения механических перегрузок характерна и для остальных основных механизмов, не участвующих непосредственно в процессе копания. Электропривод подъема на драглайне в процессе копания играет вспомогательную роль и имеет в этом режиме незначительную нагрузку. Однако опасные механические перегрузки могут возникать при отрыве ковша после копания, при подъеме груженого ковша в условиях большой растяжки и т. п. Вероятны такие механические перегрузки и на механизме поворота, например при зачистке забоя. Поэтому требование ограничения момента при механических перегрузках предъявляется ко всем главным электроприводам экскаваторов, и основным средством ограничения момента является использование электропривода с экскаваторной характеристикой.

Характерной особенностью электропривода подъема драглайна является невысокое допустимое значение стопорного момента, ограничиваемое прочностью легкой упругой и длинной стрелы, в сравнении с максимальными статическими нагрузками при отрыве и подъеме груженого ковша. Статический момент при подъеме груженого ковша по обычной траектории достигает 60 - 70% стопорного момента. Поэтому возможные значения динамической составляющей момента привода при пуске с наибольшей нагрузкой ограничиваются 20 - 30% стопорного момента. Если динамические качества системы электропривода неблагоприятны, переходные процессы затягиваются, что в конечном счете может заметно увеличивать время рабочего цикла[4].

Предположим, что электропривод подъема драглайна имеет экскаваторную характеристику 1 (см. рисунок 1) и что в процессе пуска с  $M_c = M_{c,max}$  привод развивает при каждом значении скорости момент в соответствии с этой характеристикой. Известно, что при этом время пуска до скорости  $n_c$  приближенно

можно оценить, если заменить фактические значения пускового момента, который в действительности будет меняться от  $M_{п} = M_{стоп}$  до  $M_{п} = M_{с.мах}$ , средним пусковым моментом:

$$M_{п.ср} = \frac{M_{стоп} + M_{с.мах}}{2}.$$

При этом время пуска в соответствии с выражением составит:

$$t_{п.1} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n_c}{M_{п.ср} - M_{с.мах}}.$$

Очевидно, при идеальной экскаваторной характеристике  $M_{п.ср} = M_{с.мах}$  и время пуска до скорости  $n_c$  уменьшится:

$$t_{п.2} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n_c}{M_{стоп} - M_{с.мах}} < t_{п.1}.$$

Приведенное сопоставление свидетельствует о том, что для получения минимальной длительности переходных процессов желательна экскаваторная характеристика с высоким заполнением. Поэтому при проектировании и наладке электропривода подъема стремятся к получению вертикально падающего участка экскаваторной характеристики при  $M = M_{стоп}$  (кривая 3 на рисунке 1).

Для электроприводов подъема и тяги необходимо регулирование скорости в диапазоне (3 - 4) : 1 вниз от основной для необходимой подрегулировки скорости в рабочем цикле главным образом при копании, а также для производства вспомогательных, подготовительных и монтажных работ (запасовка канатов, подъем и опускание стрелы и т. п.). Кроме того, при электроприводе постоянного тока на этих механизмах используется ослабление поля двигателя для увеличения скорости при спуске ковша, вытравливании тяговых канатов и т. д. на 25 - 50% по отношению к основной.

При регулировании скорости вниз от основной особых требований в отношении коэффициента заполнения характеристик не выдвигается. В частности, вполне удовлетворительны линейные промежуточные характеристики привода с независимым или мало меняющимся от положения командоконтроллера стопор-

ным моментом. Специальные требования предъявляются к механической характеристике привода, соответствующей нулевому положению командоконтроллера. Они связаны с необходимостью удержания ковша в этом режиме почти в неподвижном состоянии без наложения механического тормоза.

Для этого необходимо, чтобы механическая характеристика, соответствующая нулевому положению командоконтроллера, имела в зоне нормальных нагрузок высокую жесткость[5].

## **2. Выбор электрооборудования. Проверка электродвигателей по скорости, мощности и нагреву**

### **2.1. Система пуска агрегата и возбуждения приводного синхронного двигателя экскаватора ЭШ 20/90**

Основным элементом системы является шкаф разгона и возбуждения синхронного двигателя (ШРВСДШ). В процессе разгона ШРВСДШ взаимодействует с другими шкафами и пультами.

Система обеспечивает два режима пуска агрегата: пуск агрегата с разгоном и прямой пуск агрегата.

Пуск агрегата с разгоном является основным режимом пуска.

При разгоне осуществляется плавный разгон агрегата до скорости, близкой к подсинхронной, за счет момента создаваемого генератором поворота, работающим в двигательном режиме. На время разгона контактор КМ в шкафу 1ШК1 отключает генератор от двигателей поворота.

Питание якорной цепи генератора осуществляется от тиристорного преобразователя, входящего в состав ШРВСДШ. В этом случае преобразователь получает питание непосредственно от сети -380V. Регулятор, реализуемый панелью микропроцессорной системы управления (МСУ), входящей в шкаф ШРВСДШ, обеспечивает разгон с постоянным якорным током.

Обмотка возбуждения генератора поворота в процессе разгона питается от транзисторного возбудителя, входящего в состав ШВУ. Этот же возбудитель используется в приводе поворота экскаватора, поэтому никакой перекоммутации

обмотки возбуждения генератора для обеспечения функции разгона не требуется. При разгоне возбуждение генератора регулируется блоком БМСУ, входящим в состав ШВУ. Этот блок по мере разгона обеспечивает ослабление поля генератора, с тем, чтобы при увеличивающейся скорости вращения агрегата ЭДС генератора соответствовала (с учетом падения напряжения от якорного тока) выходному напряжению тиристорного преобразователя ШРВСДШ.

Информация о достижении подсинхронной скорости поступает в ШРВСДШ от датчика скорости, установленного на четырехмашинном агрегате.

После поступления этого сигнала: снимаются импульсы с тиристорного преобразователя ШРВСДШ и затем - с возбудителя в ШВУ; тиристорный преобразователь переключается на питание от трансформатора, а по выходу - на обмотку возбуждения синхронного двигателя (далее СД).

На любой стадии может быть прекращен процесс разгона и СД отключается от сети  $\sim 6$  kV, если вакуумный выключатель до этого был уже включен. Отключение СД от сети может быть также произведено из кабин кнопками SB 1 «Стоп агрегата» на пультах ПУ1 и ПУ2.

Параметры синхронного электродвигателя ДСЭ 2500-6-750 У3 приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры синхронного электродвигателя ДСЭ 2500-6-750 У3

Наименование параметров	Примечание
Мощность, кВт	2500
Напряжение, В	6000
Частота, Гц	50
Частота вращения, об/мин	750
Коэффициент мощности $\cos \varphi$	0.95
Кратность пускового момента	1.05
Кратность максимального момента	2.2
Ток статора, А	259

Окончание таблицы 1.

Кратность пускового тока, А	5.8
Ток возбуждения (амп), А:	
при ХХ	191
при ном. нагрузки $\cos \varphi = 0.95$	341
при ном. нагрузки $\cos \varphi = 0$	397
Соединение фаз	Y

## **2.2. Проверка электродвигателя по мощности и техническим условиям**

Электропривод механизма подъема работает в повторно – кратковременном режиме, характерной особенностью которого являются частые пуски и остановки двигателя. Известно, что потери энергии в переходных процессах непосредственно зависят от момента инерции электропривода  $J$ , основную долю которого составляет момент инерции двигателя  $J_{дв}$ .

Поэтому для электроприводов экскаваторных механизмов применяются специальные электродвигатели, которые при требуемых мощности и скорости имеют небольшой момент инерции.

По условиям нагрева для механизма подъема требуется высокая перегрузочная способность двигателя, так как при пуске с повышенной статической нагрузкой двигатель должен развивать повышенный пусковой момент, превосходящий статический на значение требуемого динамического момента. Требование высокой перегрузочной способности определяется также необходимостью

преодоления кратковременных механических перегрузок, возникающих при отрыве груженого ковша.

Методика проверки электродвигателей подъема сводится к определению требуемой средневзвешенной мощности двигателей и эквивалентного момента, который не должен превышать номинальный момент электродвигателя.

### 2.3. Определение нагрузок механизма подъема

В приложении 3 представлены расчетные схемы для определения усилий в главных механизмах драглайна и построены нагрузочные и скоростные диаграммы их двигателей.

Время, необходимое для поворота платформы драглайна с груженым ковшом на разгрузку и с порожним ковшом к забою, составляет 70 - 80% времени полного цикла, поэтому при построении нагрузочных и скоростных диаграмм для определения средневзвешенной мощности приводов главных механизмов время цикла работы драглайна следует разбивать на следующие периоды: время копания  $t_k = 0,3t_{ц}$ , время поворота на разгрузку  $t_p$  и к забою  $t_3$ , причем  $t_p = t_3 = 0,35 t_{ц}$ .

В процессе копания двигатель механизма подъема не нагружен.

( $N_{п.д} \cong 0$ ). При отрыве ковша от забоя, длительность которого не превышает  $t_{отр} = 2 - 3$  с, усилие в подъемном канате определяется по формуле:

$$N_{п.д} = (1.5 \div 1.7)G_{к+п} = 1.7 \cdot 721000 = 1226000H.$$

Частота вращения подъемного двигателя при этом близка к номинальной  $v_{пд} = v_{пд.н}$ .

При дальнейшем подъеме ковша с породой и повороте его к месту разгрузки усилие в подъемном канате равно

$$\dot{N}_{п.д} = G_{к+п} = 721000H.$$

Подъем груженого ковша должен происходить с номинальной скоростью  $v_{п.д.н}$ , достаточной для прохождения пути от максимальной глубины черпания до максимальной высоты разгрузки ковша за время поворота экскаватора на  $120^\circ$ .

При повороте платформы к забою спуск ковша осуществляется в режиме ослабления поля возбуждения двигателя при скорости на 10 - 30% больше номинальной скорости подъема ковша. Усилие в подъемном канате при этом создается только массой порожнего ковша:

$$N_{п.д}^{\ddot{}} = G_K = 267800H.$$

Мощность двигателя подъемного механизма в момент отрыва ковша от забоя:

$$P_{п.д} = \frac{N_{п.д} v_{п.д}}{\eta_{п.д}} = \frac{1226000 \cdot 2.64}{0.8} = 4046 \text{кВт}.$$

Мощность двигателя подъемного механизма при повороте платформы на разгрузку:

$$P_{п.д}^{\dot{}} = \frac{N_{п.д} v_{п.д}}{\eta_{п.д}} = \frac{721000 \cdot 2.64}{0.8} = 2379 \text{кВт}.$$

При повороте платформы к забою спуск ковша осуществляется в режиме ослабления поля возбуждения двигателя при скорости на 10 - 30% больше номинальной скорости подъема ковша.

Мощность двигателя подъемного механизма в этот период:

$$P_{п.д}^{\ddot{}} = \frac{N_{п.д} v_{п.д}}{\eta_{п.д}} = \frac{267800 \cdot 2.64}{0.8} = 884 \text{кВт}.$$

Расчетная продолжительность цикла при повороте на  $120$  град. и концевом проходе, при средней глубине копания до  $25$ м в грунтах I категорий,  $60$  сек.

Принимаем:  $t_{OTP} = 3$  сек., время поворота на возвращение в забой  $t_{з.д} = 0.35t_{ц.д}$  и время поворота на разгрузку  $t_{р.д} = 0.35t_{ц.д} = t_{п.д} + t_{OTP}$  (см. приложение 3).

Нагрузочные и скоростные диаграммы механизма подъема драглайна приведены на рисунке 2.

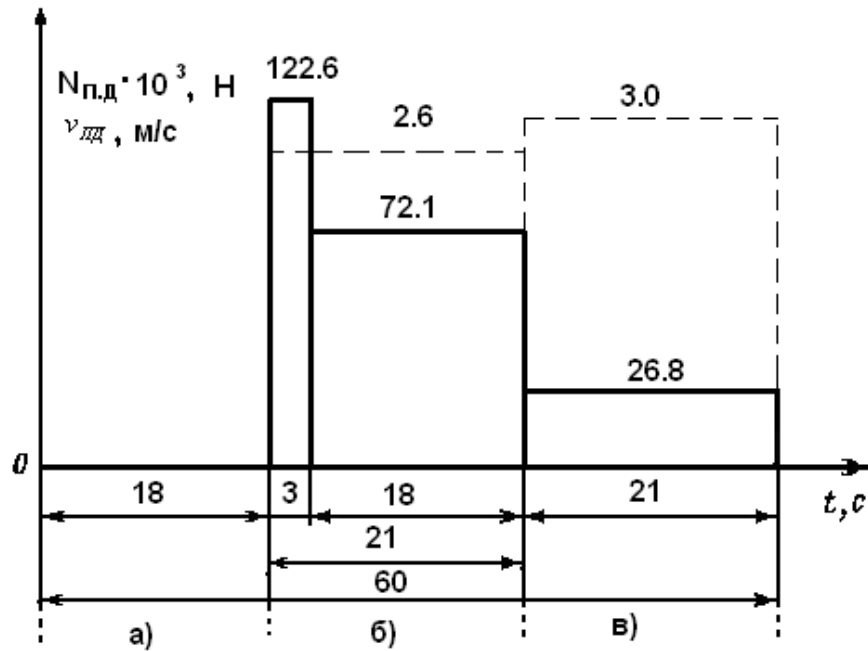


Рисунок 2. Нагрузочные ( — ) и скоростные (-----) диаграммы механизма подъема драглайна

где а – период капания; б – период поворота груженого ковша на разгрузку; в – период поворота порожнего ковша к забою.

Средневзвешенная мощность двигателя подъемного механизма:

$$P_{п.д(св)} = \frac{P_{п.д}t_{OTP} + P_{п.д}^{\dot{}}t_{п.р} + P_{п.д}^{\ddot{}}t_{п.з}}{t_{OTP} + t_{п.р} + t_{п.з}} = \frac{4046 \cdot 3 + 2379 \cdot 18 + 884 \cdot 21}{3 + 18 + 21} = 1750 \text{ кВт.}$$

Средневзвешенная мощность одного двигателя подъемного механизма при использовании двух двигателей на подъем [6]:

$$P_{п.д(св)}^{\dot{}} = \frac{P_{п.д}}{2} = \frac{1750}{2} = 875 \text{ кВт.}$$



## 2.4. Определение скорости вращения двигателей

Кинетическая схема механизма подъема и схема навески канатов подъема совместно образуют компоновочную схему механизма подъема.

Подъемный механизм двухступенчатый цилиндрический редуктор с барабаном на выходном валу.

Определим частоту вращения барабана подъемной лебедки:

$$n_{\text{БАР}} = \frac{60v_{\text{КАН}}i_{\text{ПОЛ}}}{\pi D_{\text{БАР}}} = \frac{60 \cdot 2,64 \cdot 1}{3,14 \cdot 1,8} = 28 \text{ об/мин},$$

где  $i_{\text{ПОЛ}} = 1$  определяется по схеме навеске канатов.

Диаметр  $D_{\text{БАР}}$  найден по эмпирической формуле:

$$D_{\text{БАР}} = (25 \div 32) \cdot d_{\text{КАН}} \cdot 10^{-3} = 28 \cdot 64 \cdot 10^{-3} = 1,8 \text{ м}.$$

Диаметр каната  $d_{\text{КАН}}$  принят [2] по расчетному усилию:

$$N_{\text{КАН.П}} = \frac{5N_{\text{П.Л}}}{a_{\text{ДВ}}i_{\text{ПОЛ}} \cdot 0,75} = \frac{5 \cdot 72100}{2 \cdot 1 \cdot 0,75} = 2403 \text{ кН},$$

где  $a_{\text{ДВ}} = 2$  – число двигателей подъемного механизма.

$$N_{\text{КАН.П(РАСЧ)}} \leq N_{\text{КАН.П(ВЫБР)}}$$

Ближайший канат по разрывному усилию имеет диаметр  $d_{\text{КАН}} = 64 \text{ мм}$ :

$$N_{\text{КАН.П(РАСЧ)}} = 2403 \text{ кН} \leq N_{\text{КАН.П(ВЫБР)}} = 2940 \text{ кН}.$$

Требуемая максимальная скорость вращения двигателя:

$$n_{\text{ДВ}} = i_{\text{РЕД}} \cdot n_{\text{БАР}} = 22,53 \cdot 28 = 630,84 \text{ об/мин}.$$

Итого в соответствие с расчетами средневзвешанной мощности и скорости вращения вала выбираем два двигателя МПЭ – 1120 - 630 УЗ, паспортные параметры которого приведены в приложении 4. Каждый из двигателей имеет следующие технические параметры приведенные в таблице 2.

Таблица 2. Технические параметры двигателя МПЭ – 1120 - 630 УЗ.

Наименование параметров	Примечание
Мощность, кВт	1120
Напряжение, В	600
Частота вращения, об/мин	630
К.п.д при номинальной нагрузке	94.4
Номинальный ток, А	1980
Максимальный ток $I_{MAX}$ , А	$I_H 2.5$
Ток отключения $I_{ОТКЛ}$ , А	$I_H 2.75$
Число полюсов $2p$	6
Ток возбуждения $I_{ВН}$ , А:	39
Напряжение возбуждения, В	141
Момент инерции якоря, $кг \cdot м^2$	134

Определяем номинальный момент двигателя:

$$M_{дв.н} = \frac{30P_{дв.н}}{\pi \cdot n_H} = \frac{30 \cdot 1120000}{\pi \cdot 630} = 16977Н \cdot м.$$

Момент инерции редуктора с барабаном и поступательно перемещающихся ковша и породы:

ковша:

$$J_K = 91 \cdot \frac{m_{к.д} \cdot v_{п.д}^2}{a_{дв} \cdot n_{НОМ.П}^2} = 91 \cdot \frac{27300 \cdot 2.64^2}{2 \cdot 630^2} = 21.8 кг \cdot м^2,$$

породы:

$$J_{П} = 91 \cdot \frac{m_{п} \cdot v_{п.д}^2}{a_{дв} \cdot n_{НОМ.П}^2} = 91 \cdot \frac{46200 \cdot 2.64^2}{2 \cdot 630^2} = 36.9 кг \cdot м^2,$$

редуктора:

$$J_{ред.б} = 0.2 \cdot 134 = 26.8 кг \cdot м^2.$$

Моменты двигателя принимаем в соответствии с рекомендациями  
стопорный:

$$M_{CT.П} = 2.5M_{ДВ.Н} = 2.5 \cdot 16977 = 42443H \cdot м,$$

отсечки:

$$M_{ОТС.П} = 0.85M_{CT.П} = 0.85 \cdot 42443 = 36077H \cdot м,$$

Момент сопротивления при отрыве ковша от забоя:

$$M_1 = \frac{N_{П.Д} D_{БАР}}{2 \cdot 2 \cdot i_{РЕД} \cdot \eta_{П.Д}} = \frac{1226000 \cdot 1.8}{2 \cdot 2 \cdot 22.53 \cdot 0.8} = 30609H \cdot м.$$

Динамический момент при разгоне двигателя:

$$M_2 = M_{ДВ.П} - M_1 = 39260 - 30609 = 8651H \cdot м,$$

где  $M_{ДВ.П} = \frac{M_{CT.П} + M_{ОТС.П}}{2} = \frac{42443 + 36077}{2} = 39260H \cdot м.$

Время разгона двигателя:

$$t_1 = \sum J \frac{\omega_{П.Д}}{M_2} = (21.8 + 36.9 + 26.8 + 134) \cdot \frac{66}{8651} = 1.67с,$$

где  $\omega_{П.Д} = \frac{\pi}{30} \cdot n_{НОМ.П} = 0.105 \cdot 630 = 66 рад/с.$

Момент, развиваемый двигателем при отрыве ковша с грунтом от  
забоя:

$$M_3 = M_{ДВ.П} = 39260H \cdot м.$$

Момент при подъеме груженого ковша над забоем:

$$M_4 = \frac{N_{П.Д} D_{БАР}}{2 \cdot 2 \cdot i_{РЕД} \cdot \eta_{П.Д}} = \frac{721000 \cdot 1.8}{2 \cdot 2 \cdot 22.53 \cdot 0.8} = 18000H \cdot м.$$

Момент торможения ковша при разгрузке:

$$M_5 = M_{ДВ.П} - M_6 = 39260 - 11520 = 27740H \cdot м.$$

$$\text{где } M_6 = \frac{N_{\text{п.д}} \cdot D_{\text{БАР}} \cdot \eta_{\text{п.д}}}{2 \cdot 2 \cdot i_{\text{ред}}} = \frac{721000 \cdot 1.8 \cdot 0.8}{2 \cdot 2 \cdot 22.53} = 11520 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Время торможения:

$$t_2 = \sum J \frac{\omega_{\text{п.д}}}{M_5} = (21.8 + 36.8 + 26.8 + 134) \cdot \frac{66}{27740} = 0.5 \text{ с}.$$

Момент двигателя при торможении:

$$M_7 = M_{\text{дв.п}} - M_4 = 39260 - 18000 = 21260 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Время копания грунта в среднем от цикла  $t_k = 0,3t_{\text{ц}} = 18 \text{ с}$  оно может быть меньше или больше и определяется технологией ведения работ и является усредненным в качестве расчетного. Время подъема ковша над забоем до начала поворота определяется технологией ведения работы. При повороте платформы с груженным ковшом к месту разгрузки подъемный механизм может работать как в режиме дальнейшего подъема ковша, так и в режиме его спуска. Наиболее тяжелый будет режим подъема груженого ковша. Поэтому этот режим принят в качестве расчетного. Подъем ковша совместно с поворотом платформы (считаем тип забоя позволяет начать поворот совместно с подъемом) продолжается до конца поворота платформы с установленной скоростью. Поэтому считаем в качестве расчетного продолжительность подъема равной продолжительности поворота с учетом времени отрыва и времени торможения  $t_{\text{п.д}} = 0.35t_{\text{ц.д}} - t_1 - t_2 = 0.35 \cdot 60 - 1.67 - 0.5 = 18.8 \text{ с}$ , также время поворота на возвращение в забой  $t_{3,д} = 0.35t_{\text{ц.д}}$ , где время спуска ковша с учетом времени разгона и торможения  $t_{\text{с.д}} = 0.35t_{\text{ц.д}} - t_3 - t_4 = 0.35 \cdot 60 - 0.3 - 0.4 = 20.3 \text{ с}$ .

Момент сопротивления при спуске порожнего ковша в забой:

$$M_8 = \frac{N_{\text{п.д}} \cdot D_{\text{БАР}}}{2 \cdot 2 \cdot i_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{п.д}}} = \frac{267800 \cdot 1.8}{2 \cdot 2 \cdot 22.53 \cdot 0.8} = 6686 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Динамический момент при разгоне двигателя на спуск порожнего ковша:

$$M_9 = M_{дв.п} + M_8 = 39260 + 6686 = 45946 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Время разгона двигателя при спуске порожнего ковша:

$$t_3 = \sum J \frac{1.1\omega_{п.д}}{M_9} = (21.8 + 26.8 + 134) \cdot \frac{1.1 \cdot 66}{45946} = 0.3 \text{ с}.$$

Момент развиваемый двигателем при спуске ковша:

$$M_{10} = M_{дв.п} = 39260 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент торможения при спуске порожнего ковша в забой:

$$M_{11} = M_{дв.п} - M_8 = 39260 - 6686 = 32574 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Время торможения:

$$t_4 = \sum J \frac{1.1\omega_{п.д}}{M_{11}} = (21.8 + 26.8 + 134) \cdot \frac{1.1 \cdot 66}{32574} = 0.4 \text{ с}.$$

Момент двигателя, развиваемый при торможении:

$$M_{12} = M_{дв.п} = 39260 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Нагрузочная и скоростная диаграмма подъемного механизма показана рисунке 3.

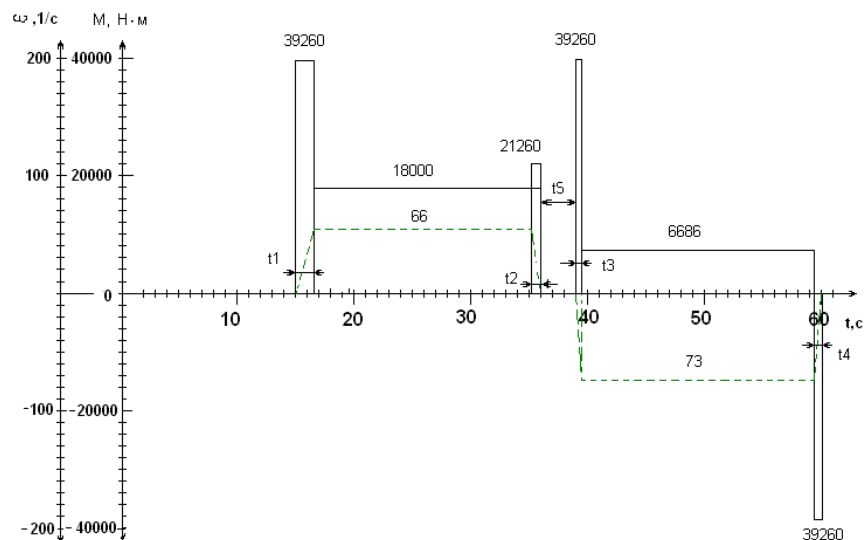


Рисунок 3. Нагрузочные ( — ) и скоростные (-----) диаграммы двигателя подъемного механизма драглайна.

$t_1 = 1.64\text{c}$  - время разгона двигателя;  $t_2 = 0.5\text{c}$  - время торможения при разгрузке;  $t_3 = 0.3\text{c}$  - время разгона двигателя при спуске порожнего ковша в забой;  $t_4 = 0.4\text{c}$  - время торможения при спуске порожнего ковша в забой,  $t_5 = 3\text{c}$  разгрузка ковша.

Эквивалентный момент двигателя подъема рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{ЭК.П}} = \sqrt{\frac{39260^2 \cdot 1.67 + 18000^2 \cdot 18.8 + 21260^2 \cdot 0.5 + 39260^2 \cdot 0.3 + 6686^2 \cdot 20.3 + 39260^2 \cdot 0.4}{60}}$$

$$= 13464.5\text{H} \cdot \text{м} < M_{\text{НОМ.П}} = 16977\text{H} \cdot \text{м}$$

Из приведенных расчетов видно, что принятый двигатель отвечает требованиям подъемного механизма по нагреву [7].

### 3. Выбор генератора. Расчетные параметры электродвигателя и генератора механизма подъема

Проведем расчет необходимых параметров, выбранного двигателя. Электропривод двухдвигательный, что уменьшает эквивалентный момент инерции привода. Двигатели включены последовательно, что обеспечивает выравнивание нагрузок между ними без применения дополнительных устройств.

В качестве электродвигателей механизма подъема выбраны два двигателя постоянного тока типа МПЭ–1120–630 УХЛЗ, расчетные параметры которых приведены в приложении 5.

В качестве генератора в системе Г-Д механизма подъема выбран генератор типа ГПЭ–2500–750 ХЛЗ, паспортные данные которого приведены в приложении 6. Расчетные параметры генератора приведены в приложении 7.

Характеристика намагничивания генератора приведена на рисунке 4 и в таблице 3.

Максимальное значение индуктивности основного потока обмотки возбуждения на линейном участке кривой намагничивания [8]:

$$L_{ВГ.МАКС} = 2p \cdot W_{ВГ} \frac{\Delta\Phi}{\Delta I_{ВГ}} = 6 \cdot 153 \cdot \frac{0.072}{10} = 6.61 Гн.$$

Индуктивность потока рассеяния обмотки возбуждения [8]:

$$L_s = 2p \cdot W_{ВГ} \frac{0.7 \cdot 0.18 \cdot \Phi_H}{I_{ВН}} = 6 \cdot 153 \cdot \frac{0.7 \cdot 0.18 \cdot 0.222}{68} = 0.378 Гн.$$

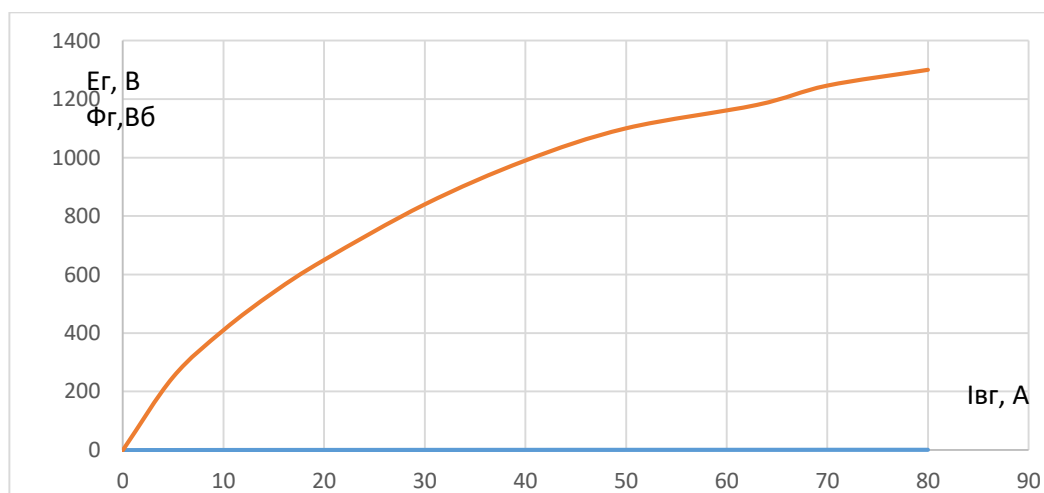


Рисунок 4. Характеристика намагничивания генератора

Таблица 3. Параметры характеристики намагничивания генератора

$I_B, A$	0	5	10	15	20	30	40	50	63	70	80
$E_G, B$	0	251	411	545	655	845	995	1110	1185	1247	1305
$\Phi_G, Bб$	0	0.045	0.076	0.1	0.13	0.156	0.184	0.202	0.217	0.24	0.25

### 3.1. Якорная цепь системы генератор-двигатель электропривода

Электрическая схема системы Г – Д представлена на рисунке 5.

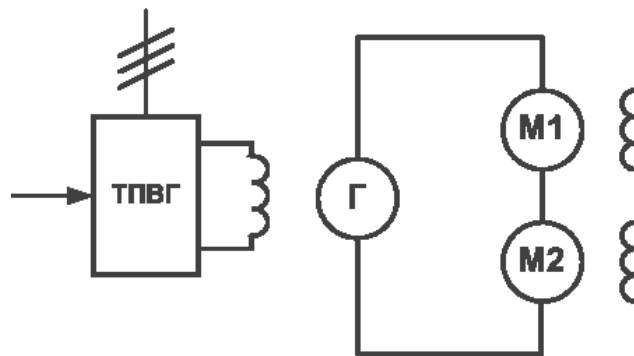


Рисунок 5. Электрическая схема системы Г – Д

Схема замещения силовой цепи генератора и двигателей приведена на рисунке 6.

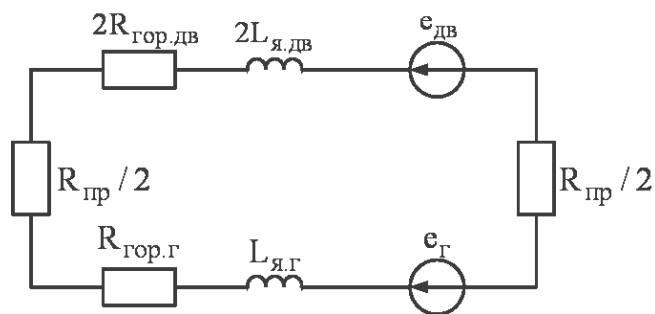


Рисунок 6. Схема замещения силовой цепи генератора и двигателей

Для цепи якоря справедливо следующее уравнение:

$$e_G - e_{ДВ} = i_{яц} \cdot R_{яц} + L_{яц} \frac{di_{яц}}{dt},$$

где  $e_G$  – ЭДС генератора,



$e_{дв}$  – ЭДС эквивалентного двигателя,

$R_{яц}$ ,  $L_{яц}$  – сопротивление и индуктивность цепи якоря.

Для приведенного уравнения соответствует передаточная функция [9]:

$$W_{я}(p) = \frac{i_{яц}(p)}{e_{Г}(p) - e_{дв}(p)} = \frac{1/R_{яц}}{T_{яц}p + 1}.$$

### 3.2. Расчет параметров якорной цепи системы генератор-двигатель

Расчетные параметры приведены в таблице 4.

Таблица 4. Расчетные параметры системы генератор-двигатель

№ п.п	Наименование расчетного параметра, размерность	Расчетная формула, обозначение	Данные
1.	Сопротивление якорной цепи, Ом	$R_{яц} = 2R_{дв.ГОР} + R_{Г.ГОР} + 0.1(2R_{дв.ГОР})$	0.03283
2.	Индуктивность якорной цепи, Гн	$L_{яц} = 2L_{дв} + L_{Г}$	0.00079
3.	Электромагнитная постоянная времени якорной цепи, с	$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}}$	0.0242
4.	Постоянная времени цепи двигателя, с	$T_{дв} = \frac{L_{дв}}{R_{дв.ГОР}}$	0.016
5.	Электромагнитная постоянная времени генератора, с	$T_{Г} = \frac{L_{Г}}{R_{Г.ГОР}}$	0.041

### 3.3. Предельная область работы электропривода

Предельная область работы электропривода определяется предельными электромеханическими характеристиками разомкнутой системы Г – Д при  $I_{вГ} = \pm I_{вГН}$ . При этом со стороны тока, область ограничивается эквивалентной кривой, построенной с учетом допустимых токов генератора и двигателей. График предельной области работы электропривода показан на рисунке 7 [10].

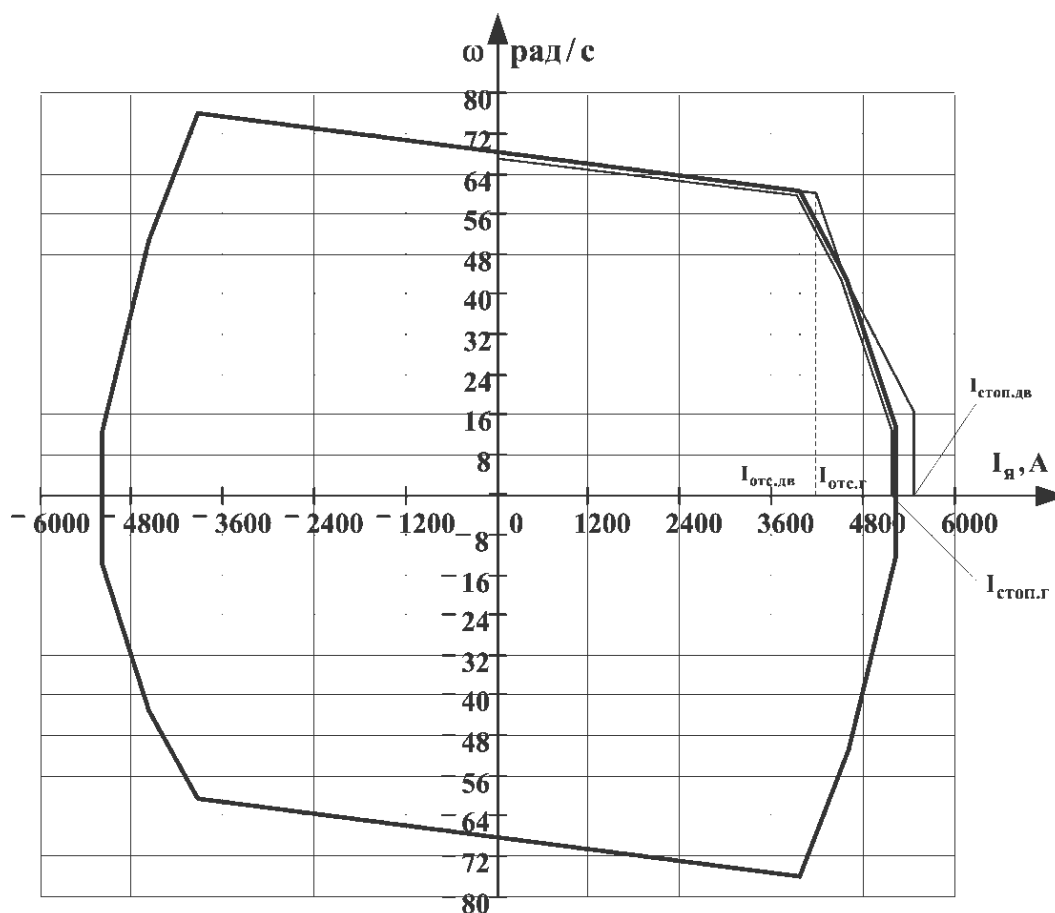


Рисунок 7. Предельная область работы электропривода

### 3.4. Выбор тиристорного преобразователя возбуждения генератора

При расчете параметров цепи обмотки возбуждения генератора пренебрегаем омическим сопротивлением и индуктивностью цепи тиристорного возбудителя [4].

Сопротивление цепи обмотки возбуждения с учетом возбудителя и соединительных проводов:

$$R_{ЦВГ} = 1.1R_{В.ГОР} = 1.1 \cdot 1.47 = 1.617 \text{ Ом.}$$

ЭДС возбудителя при номинальном токе возбуждения:

$$U_{ТВГ.Н} = I_{ВГН} \cdot R_{ЦВГ} = 68 \cdot 1.617 = 109.95 \text{ В.}$$

Максимальное значение ЭДС возбудителя с учетом форсировки:

$$E_{ТВГ.МАКС} = \alpha \cdot U_{ТВГ.Н} = 2 \cdot 109.95 = 219.9 \text{ В.}$$

где  $\alpha = 2$  – коэффициент форсировки возбуждения генератора.

Паспортные данные тиристорного преобразователя обмотки возбуждения генератора приведены в таблице 5.

Таблица 5. Технические параметры ТВГ

Наименование	Обозначение	Значение
Схема выпрямления	–	Трехфазная мостовая
Номинальное выпрямленное напряжение, В	$U_{дн}$	230
Номинальный выпрямленный ток, А	$I_{дн}$	100
Управление реверсивным преобразователем	–	раздельное
Начальный угол управления, град.	$\alpha_{нач}$	90
Минимальный угол управления, град.	$\alpha_{мин}$	30
Число фаз преобразователя	$m_B$	6
Максимальное напряжение управления на входе возбудителя, В	$U_{у.ТВГ.макс}$	10

Постоянная времени основного потока цепи обмотки возбуждения генератора:

$$T_B = \frac{L_{ВГ}}{R_{ЦВГ}} = \frac{6.61}{1.617} = 4.088с.$$

Постоянная времени потока рассеяния цепи обмотки возбуждения генератора:

$$T_S = \frac{L_{SG} + L_{ТПВГ}}{R_{ЦВГ}} = \frac{0.38}{1.617} = 0.235с,$$

где значением индуктивности возбудителя пренебрегаем.

Постоянная времени контура вихревых потоков:

$$T_K \approx 0.1 \cdot T_B = 0.1 \cdot 4.088 = 0.409с.$$

Постоянные времени эквивалентного апериодического звена второго порядка:

$$T_{1,2} = \frac{T_B + T_S + T_K}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{T_B + T_S + T_K}{2}\right)^2 - T_S \cdot T_K}$$

Большая постоянная времени:

$$T_1 = \frac{4.088 + 0.235 + 0.409}{2} + \sqrt{\left(\frac{4.088 + 0.235 + 0.409}{2}\right)^2 - 0.235 \cdot 0.409} = 4.712c,$$

Малая постоянная времени:

$$T_2 = \frac{4.088 + 0.235 + 0.409}{2} - \sqrt{\left(\frac{4.088 + 0.235 + 0.409}{2}\right)^2 - 0.235 \cdot 0.409} = 0.021c.$$

Средняя выпрямленная ЭДС возбудителя генератора:

$$E_{d0} = \frac{U_{2Л}}{\sqrt{3} \cdot k_{U2}} = \frac{205}{\sqrt{3} \cdot 0.428} = 276.4B,$$

где  $U_{2Л}$  – линейное выпрямленное напряжение вентильной обмотки.

Максимальная выпрямленная ЭДС возбудителя генератора при  $\alpha_{МИН} = 30^0$ :

$$E_{ТПВГ.МАКС} = E_{d0} \cdot \cos \alpha_{МИН} = 276.4 \cos 30^0 = 239.85B,$$

Коэффициента усиления возбудителя генератора:

$$k_{ТВ} = k_{CV.TB} \cdot k_{УВ} = 6 \cdot 4.83 = 28.98, \quad k_{УВ} = \frac{\pi \cdot E_{d0}}{180} = \frac{3.14159 \cdot 276.4}{180} = 4.83 \frac{B}{град},$$

$$k_{CV.TB} \geq \frac{\alpha_{НАЧ} - \alpha_{МИН}}{U_{УП.МАКС}} = \frac{90 - 30}{10} = 6 \frac{град}{B}.$$

Постоянная времени тиристорного возбудителя генератора:

$$T_{ТВГ} = \frac{0.5}{m_B \cdot f_C} = \frac{0.5}{6 \cdot 50} = 0.00167c.$$

### 3.5. Выбор тиристорного преобразователя возбуждения двигателя

При номинальном напряжении возбуждения  $U_{Д.В.Н} = 141B$  и номинальном токе возбуждения  $I_{Д.В.Н} = 39A$  двигателей принимаем решение о последовательном включении обмоток возбуждения, тогда требуемые параметры возбудителя двигателей:

$$U_{дн} = k_{IB} \cdot 2 \cdot U_{В.Н} = 1 \cdot 141 \cdot 2 = 282В,$$

где  $k_{IB} = 1$  – при однозонном приводе (реверс осуществляется со стороны обмотки возбуждения генератора).

$$I_{дн} \geq I_{Д.В.Н} = 39А.$$

Выбираем тиристорный возбудитель с параметрами, представленными в таблице 6.

Таблица 6. Параметры тиристорного возбудителя

Наименование	Значение
Схема выпрямления	Трехфазная мостовая полупроводяемая с нулевым вентилем
Номинальное выпрямленное напряжение $U_{дн}$ , В	460
Начальный угол $\alpha_{нач}$ , град	150÷160
Номинальный выпрямленный ток $I_{дн}$ , А	50
Минимальный угол $\alpha_{мин}$ , град	30
Максимальное опорное напряжение, В	8
Максимальное напряжение управления, В	10
Число фаз преобразователя	3
Максимальное напряжение управления на входе преобразователя $U_{у.твг.макс}$ , В	10

Для питания преобразователя возбудителя выбираем трансформатор ТСЗП – 25/07. Паспортные и расчетные параметры трансформатора приведены в таблице 7.

Таблица 7. Параметры расчетные трансформатора ТСЗП 25/07.

Параметр	Формула	Значение
Активное сопротивление фазы, Ом	$R_{ТР.Ф} = \frac{\Delta P_{КЗ}}{m_2 \cdot I_{2ФН}^2}$	0.218
Полное сопротивление, Ом	$Z_{ТР.Ф} = \frac{U_{КЗ} \cdot U_{2Ф}}{100 \cdot I_{2ФН}}$	0.318
Индуктивное сопротивление, Ом	$X_{ТР.Ф} = \sqrt{Z_{ТР.Ф}^2 - R_{ТР.Ф}^2}$	0.231
Эквивалентное сопротивление от коммутации анодных токов, Ом	$R_K = \frac{m_B \cdot X_{ТР.Ф}}{2\pi}$	0.22
Сопротивление силовой цепи преобразователя, Ом	$R_{ТПВ} = 2R_{ТР.Ф} + R_K$	0.656
Индуктивное сопротивление фазы трансформатора, Гн	$L_{ТР.Ф} = \frac{X_{ТР.Ф}}{\omega_C}$	0.00074
Индуктивное сопротивление силовой цепи преобразователя, Гн	$L_{ТПВ} = L_{ТР.Ф}$	0.00074

Средняя выпрямленная ЭДС возбудителя двигателя при угле управления  $\alpha = 0$ :

$$E_{d0} = \frac{U_{2л}}{\sqrt{3} \cdot k_{U2}} = \frac{410}{\sqrt{3} \cdot 0.428} = 553.9В.$$

Регулировочная характеристика возбудителя двигателя выполненного по трехфазной мостовой полууправляемой схеме с нулевым вентилем имеет вид:

$$E_d = \frac{E_{d0}}{2} (1 + \cos \alpha).$$

Максимальная выпрямленная ЭДС возбудителя двигателя при минимальном угле управления  $\alpha_{МИН} = 30^\circ$ :

$$E_{ТПВД.МАКС} = \frac{E_{d0}}{2} (1 + \cos \alpha_{МИН}) = \frac{553.9}{2} (1 + \cos 30^\circ) = 319.66В.$$

Коэффициента усиления тиристорного возбудителя двигателя:

$$k_{TB} = k_{CY.TB} \cdot k_{yB} = 12 \cdot 9.66 = 115.9, \quad k_{yB} = \frac{\pi \cdot E_{do}}{180} = \frac{3.14159 \cdot 553.9}{180} = 9.66 \frac{B}{град},$$

$$k_{CY.TB} \geq \frac{\alpha_{НАЧ} - \alpha_{МИН}}{U_{УП.МАКС}} = \frac{150 - 30}{10} = 12 \frac{град}{B}.$$

На этом выбор и расчет электрического оборудования завершен. Перейдем к системе управления рассчитанного электропривода [10].

#### **4. Система управления электропривода механизма подъема**

Система автоматического управления (САУ) электроприводом механизма подъема экскаватора ЭШ 20/90 состоит из комплекса элементов, при помощи которых возможно управление по определенному выбранному закону.

Структурная схема САУ регулируемого электропривода (РЭП) постоянного тока механизма подъема представляет собой трехконтурную структуру подчиненного регулирования системы Г-Д с тиристорным преобразователем в качестве возбудителя (см.рисунок 7).

##### **4.1. Синтез линеаризованной САУ РЭП**

Задача синтеза САУ РЭП сводится к определению параметров корректирующих цепей. Эта задача не является однозначной, поэтому важен выбор метода расчета, который, обладая простотой и наглядностью, позволял бы рассмотреть несколько вариантов и выбрать наиболее рациональный. Использование методов численного моделирования позволяет определять параметры системы по заданным показателям качества и варьировать ими в широких пределах. В данном проекте использована программа MATLAB Simulink.

На этапе предварительного синтеза САУ используем линеаризованные характеристики системы и ее элементов, и соответственно, методы синтеза линейных систем [11].

## 4.2. Оптимизация контура тока в двухконтурной САУ электропривода по системе ТПВГ - Д

При оптимизации контура тока предположим, что влияние ЭДС двигателя на процессы в контуре тока незначительны. Тогда структурная схема контура тока будет иметь следующий вид:

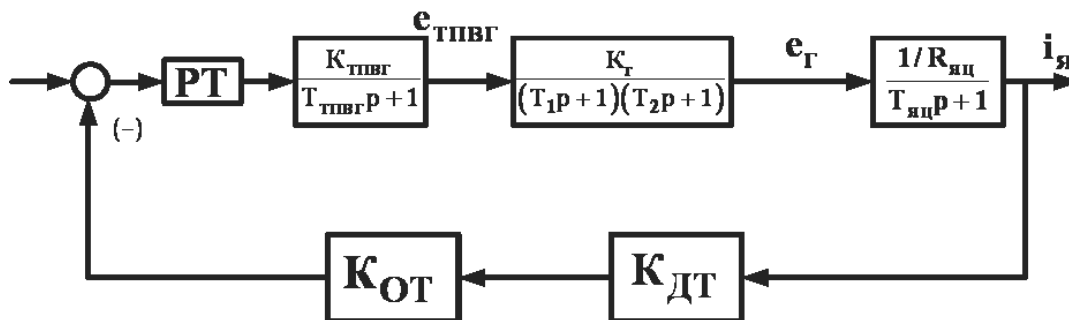


Рисунок 8. Структурная схема контура тока без учета влияния ЭДС двигателя

Контур содержит четыре постоянные времени, причем имеет место следующее соотношение:

$$\frac{T_1}{T_{ТВГ} + T_2 + T_{яц}} = \frac{4.712}{0.00167 + 0.0242 + 0.021} = 100.53.$$

Из этого соотношения можно принять:

$$T_{\mu Г} = T_{ТВГ} + T_2 + T_{яц} = 0.00167 + 0.021 + 0.242 = 0.047с \text{ – малая постоянная вре-}$$

мени контура тока.

Так как соотношение  $\frac{T_1}{T_{\mu Г}} > 20$ , то для оптимизации контура на модульный оптимум достаточно ограничится применением пропорционального регулятора тока [2.1].

С учетом принятого значения малой постоянной времени контура тока структурную схему контура можно преобразовать к следующему виду:



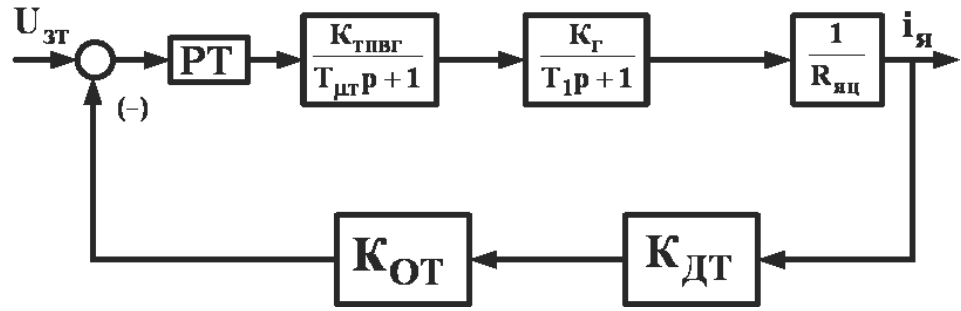


Рисунок 9. Упрощенная структурная схема контура тока

С учетом принятых обозначений коэффициент усиления РТ будет равен:

$$k_{PT} = \frac{T_1 R_{яц}}{k_{ТВГ} k_{Г} k_{Т} a_{Т} T_{\mu Г}} \left( 1 + \frac{T_{\mu Г}^2}{T_1^2} \right) = \frac{4.712 \cdot 0.03283}{28.98 \cdot 20 \cdot 0.0024 \cdot 2 \cdot 0.047} \cdot \left( 1 + \frac{0.047^2}{4.712^2} \right) = 1.18$$

где  $a_T = 2$  коэффициент оптимизации на МО;

$$k_T = k_{OT} k_{DT} = \frac{U_{3T.МАКС}}{I_{Я.МАКС}} = \frac{10}{4116} = 0.0024 \frac{В}{А},$$

$$k_{OT} = \frac{k_T}{k_{DT}} = \frac{0.0024}{0.0025} = 0.96, \quad k_{ш} = \frac{\Delta U_{ш.н}}{I_{ш.н}} = \frac{0.075}{2000} = 0.0000375 \frac{В}{А},$$

$$k_{DT} = k_{ш} \cdot k_{v,DT} = 0.0000375 \cdot \frac{10}{0.15} = 0.0025 \frac{В}{А}.$$

Передаточная функция замкнутого оптимизированного контура тока имеет вид:

$$W(p)_{Т.ЗАМ} = \frac{\frac{1}{k_{ТО}} \cdot \frac{1 + \left( \frac{T_{\mu Г}}{T_1} \right)^2}{\left( 1 + \frac{T_{\mu Г}}{T_1} \right)^2}}{\frac{2 \cdot T_{\mu Г}^2}{\left( 1 + \frac{T_{\mu Г}}{T_1} \right)^2} \cdot p^2 + \frac{2 \cdot T_{\mu Г}}{\left( 1 + \frac{T_{\mu Г}}{T_1} \right)} \cdot p + 1}.$$

Эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура равна:

$$T_{\mu ГЭ} = \frac{T_{\mu Г}}{\left( 1 + \frac{T_{\mu Г}}{T_1} \right)} = \frac{0.047}{\left( 1 + \frac{0.047}{4.712} \right)} = 0.0465с.$$

Влияние ЭДС двигателя на процессы в контуре тока определяется отношением:

$$\frac{T_{M.МАКС}}{T_{\muГЭ}} = \frac{0.047}{0.0465} = 1.01 > 1,$$

имеет место влияние ЭДС на процессы в контуре тока.

Передаточная функция замкнутого контура тока с учетом  $\dot{O}_{\mu\dot{O}Y}$  имеет вид:

$$W(p)_{Г.ЗАМ} = \frac{\frac{1}{k_T}}{2 \cdot T_{\muГЭ}^2 p^2 + 2 \cdot T_{\muГЭ} p + 1}.$$

Полоса пропускания замкнутого контура тока:

$$\omega_{\Pi}^{(\phi)} = \omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot T_{\muГЭ}} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0.0465} = 15.22 \frac{рад}{с},$$

$$\text{или } f_{\Pi} = \frac{\omega_{\Pi}}{2 \cdot \pi} = \frac{15.22}{2 \cdot \pi} = 2.42 Гц.$$

Результаты моделирования в программной среде MATLAB представлены на рисунке 10.

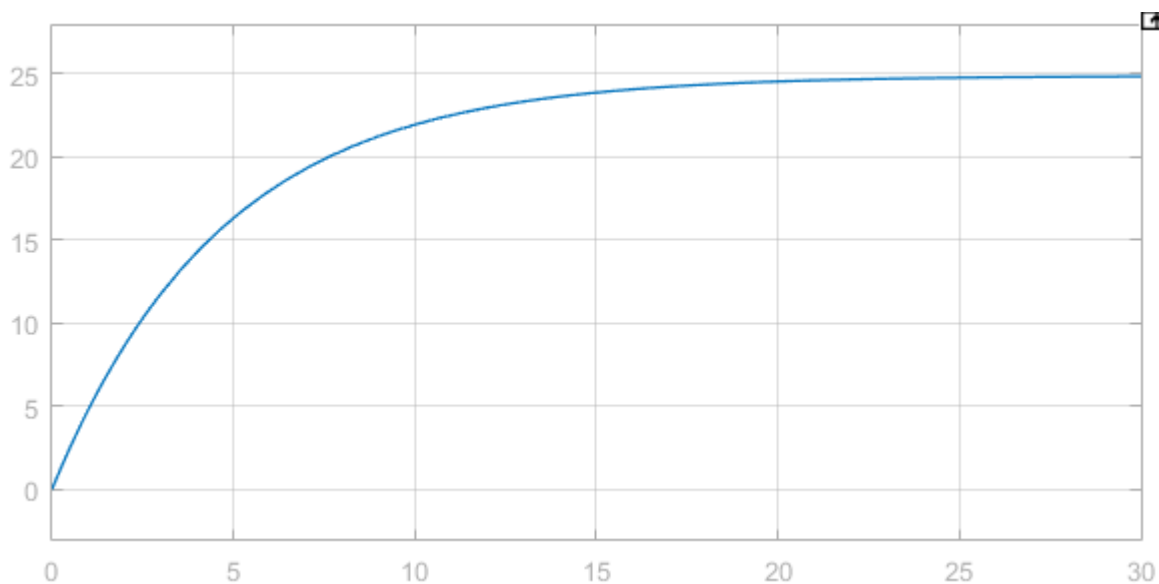


Рисунок 10. Осциллограмма тока якоря

### 4.3. Оптимизация контура напряжения

Оптимизация контура напряжения проводится на МО с пропорциональным регулятором напряжения. Этот контур включает в себя замкнутый контур тока. Параметры контура напряжения рассчитываются для значения  $J_{\text{Э.МАКС}} = 445.4 \text{кЭ} \cdot \text{м}^2$ .

Коэффициент усиления регулятора напряжения:

$$k_{PH} = \frac{J_{\text{Э.МАКС}} \cdot k_T}{k_H \cdot (2c)^2 \cdot T_H} = \frac{445.4 \cdot 0.0024}{0.0083 \cdot 17.62^2 \cdot 0.12} = 3.45,$$

где  $T_{HЭ} = 2T_{\mu H} + T_{ДВ} - T_M = 2 \cdot 0.0756 + 0.016 - 0.047 = 0.12 \text{с}$  эквивалентная постоянная времени контура напряжения,

$$\text{где } T_M = \frac{J_{\text{Э.МИН}} \cdot 2 \cdot R_{ДВ}}{(2c)^2} = \frac{371.7 \cdot 0.02 \cdot 2}{17.62^2} = 0.047 \text{с},$$

$$T_{\mu H} = T_{\mu TЭ} + 0.5 \sqrt{(2 \cdot T_{\mu TЭ} + T_{ДВ} - T_M)^2 - T_M^2 + 2T_{ДВ} \cdot T_M + T_{ДВ}^2} = \\ 0.0465 + 0.5 \sqrt{(2 \cdot 0.0465 + 0.016 - 0.047)^2 - 0.047^2 + 2 \cdot 0.016 \cdot 0.047 + 0.016^2} = 0.0756 \text{с}.$$

$$k_{ДН} = \frac{U_{3.макс}}{U_{ДВ.МАКС}} = \frac{10}{1200} = 0.0083.$$

Так как отношение  $\frac{T_{\mu H}}{2T_{\mu T}} = \frac{0.0756}{2 \cdot 0.0465} = 0.81 < 1$  можно записать передаточную

функцию замкнутого контура напряжения:

$$W(p)_{H.ЗАМ} = \frac{1}{\frac{k_H \cdot 2c}{2 \cdot T_{\mu H}^2 \cdot p^2 + 2 \cdot T_{\mu H} p + 1}}.$$

При моделировании контура напряжения были уточнены его параметры. Коэффициент усиления регулятора напряжения принят:

$$k_{PH} = 4.2.$$

Эквивалентная постоянная времени контура напряжения:

$$T_{\mu HЭ} = 0.078 \text{с}.$$

Результаты моделирования в программной среде MATLAB представлены на рисунке 11.

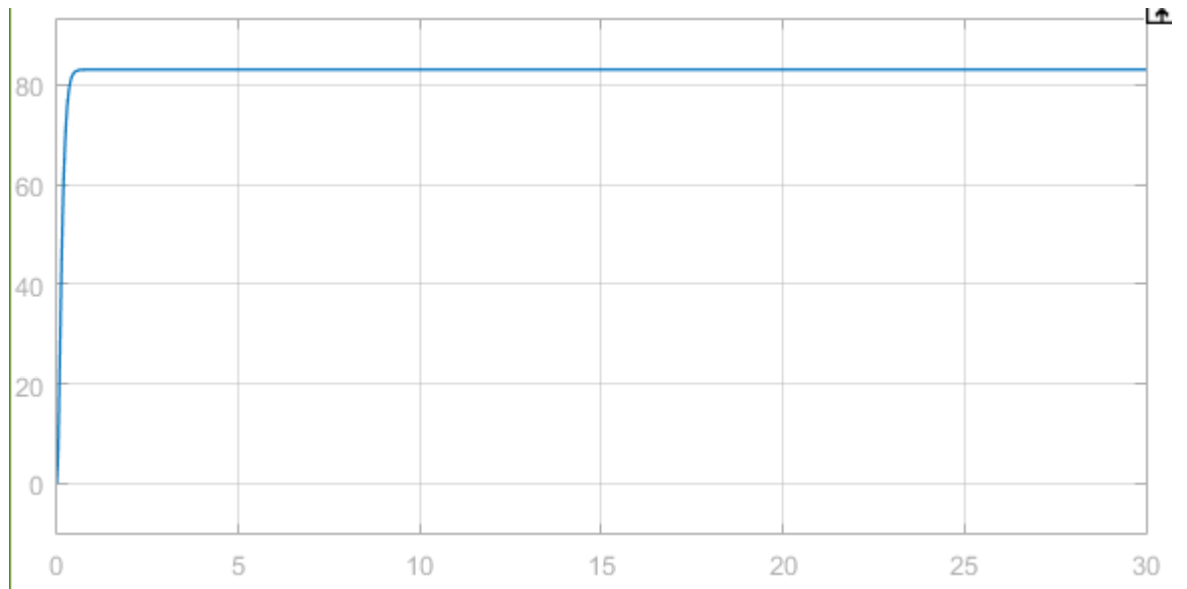


Рисунок 11. Осциллограмма напряжения

#### 4.4. Оптимизация контура возбуждения двигателя

Структурная схема контура возбуждения приведена на рисунке 12. Контур содержит три постоянных времени, при этом имеет место следующее соотношение:

$$T_1 \gg (T_{\text{ПВ}} + T_2).$$

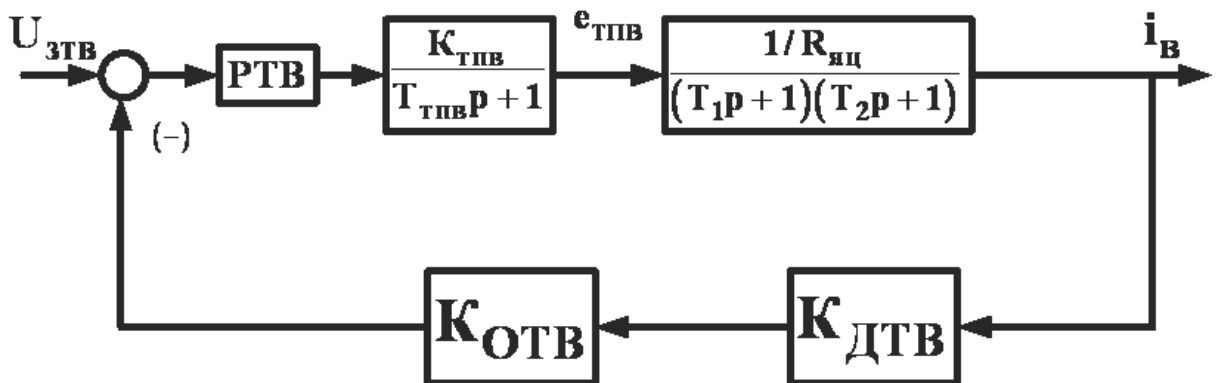


Рисунок 12. Структурная схема контура возбуждения

За малую постоянную времени примем:

$$T_{\text{дТВ}} = T_{\text{ПВ}} + T_2 = 0.0465 + 0.021 = 0.0675 \text{ с.}$$

Оптимизация контура на МО достигается применением ПИ регулятора, с передаточной функцией:

$$W(p)_{\text{Р.ТВ}} = k_{\text{РТВ}} \frac{T_{\text{РТВ}} p + 1}{T_{\text{РТВ}} p}.$$

где  $k_{PTB} = \frac{R_{ЦВ} \cdot T_1}{k_{ТПВ} \cdot k_{ТВ} \cdot a_{ТВ} \cdot T_{\mu TB}} = \frac{1.617 \cdot 4.712}{115.9 \cdot 2 \cdot 0.256 \cdot 0.0675} = 2.7$  - коэффициент усиления регулятора;

ния регулятора;

$T_{P.TB} = T_1 = 4.712c$  постоянная времени регулятора;

$k_{ТВ} = \frac{U_{3.TB.МАКС}}{I_{BH}} = \frac{10}{39} = 0.256 \frac{B}{A}$  коэффициент обратной связи по току возбуждения;

буждения;

$a_{ТВ} = 2$  коэффициент настройки на модульный оптимум.

$$W(p)_{TB.3AM} = \frac{1/k_T}{a_{ТВ} \cdot T_{ТВ}^2 \cdot p^2 + a_{ТВ} \cdot T_{ТВ} \cdot p + 1}$$

Показатели качества работы контура:

$$\delta = 4.3\%$$

$$t_{PY}^{(S)} = t_{PY}^{(M)} = 4.1 \cdot T_{\mu TB} = 4.1 \cdot 0.0675 = 0.276c,$$

$$\omega_{II}^{(\Phi)} = \omega_{II}^{(M)} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot T_{\mu TB}} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0.0675} = 10.53 \frac{rad}{c}.$$

Результаты моделирования в программной среде MATLAB представлены на рисунке 13.

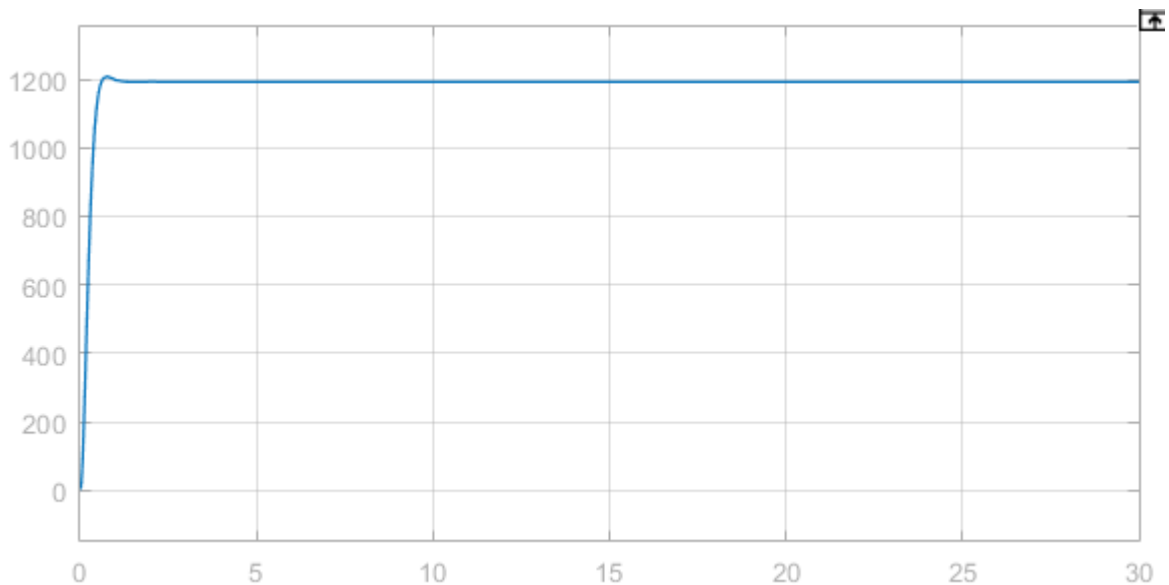


Рисунок 13. Оциллограмма тока возбуждения

#### 4.5. Статические характеристики электропривода механизма подъема

В системе Г – Д имеют место два основных установившихся режима работы электропривода:

- режим стабилизации скорости (напряжения);
- режим стабилизации (ограничения) тока.

##### Режим стабилизации скорости

В режиме стабилизации скорости при токе двигателя  $I_{я} < I_{отс}$  регулятор напряжения не насыщен, а токовая отсечка не работает. В результате действует только одна обратная связь по напряжению. Структурная схема электропривода в режиме стабилизации скорости представлена на рисунке 14.

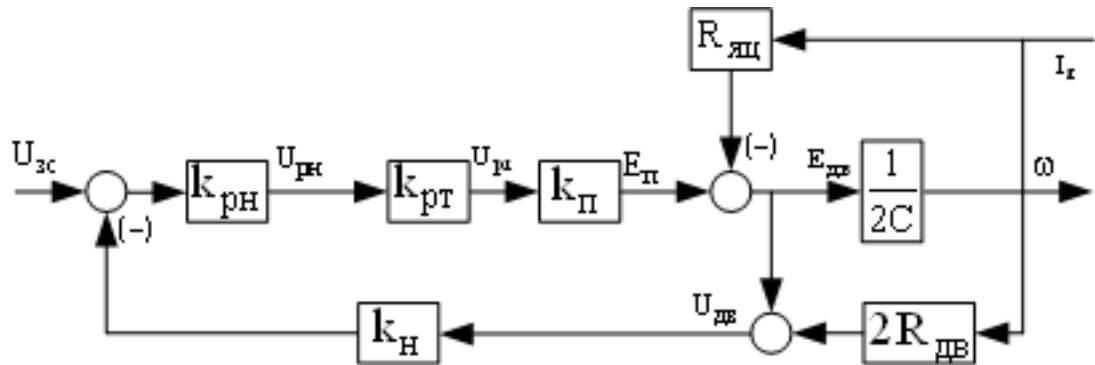


Рисунок 14. Структурная схема привода в режиме стабилизации скорости

Согласно структурной схеме можно записать следующую систему уравнений:

$$U_{рн} = (U_{зс} - k_{н} \cdot U_{дв}) k_{рн};$$

$$E_{п} = U_{рн} \cdot k_{рт} \cdot k_{п};$$

$$E_{дв} = E_{п} - I_{я} \cdot R_{яц};$$

$$U_{дв} = E_{дв} + I_{я} \cdot 2R_{дв};$$

$$E_{дв} = c \cdot \omega.$$

Решив данную систему уравнений относительно  $\omega$ , получим выражение электромеханической характеристики привода  $\omega(I)$  в режиме стабилизации скорости:

$$\omega(I) = \frac{k_{pH} \cdot k_{pT} \cdot k_{\Pi} \cdot k_H}{1 + k_{pH} \cdot k_{pT} \cdot k_{\Pi} \cdot k_H} \left( \frac{U_{3c}}{k_H \cdot 2C} \right) -$$

$$- \frac{1 + k_{pH} \cdot k_{pT} \cdot k_{\Pi} \cdot k_H \left( \frac{2R_{ДВ}}{R_{яц}} \right)}{1 + k_{pH} \cdot k_{pT} \cdot k_{\Pi} \cdot k_H} \cdot \left( \frac{R_{яц} \cdot I_{я}}{C} \right) =$$

$$= \omega_0(U_{3c}) - \Delta\omega(I) = a_1 \cdot U_{3c} - b_1 \cdot I_{я},$$

где  $I_{я} < I_{отс}$ ;

$$\omega_0(U_{3c}) = \frac{k_{pH} \cdot k_{pT} \cdot k_{\Pi} \cdot k_H}{1 + k_{pH} \cdot k_{pT} \cdot k_{\Pi} \cdot k_H} \left( \frac{U_{3c}}{k_H \cdot 2C} \right) = a_1 \cdot U_{3c} =$$

$$= \frac{3.45 \cdot 0.632 \cdot 1080 \cdot 0.0083}{1 + 3.45 \cdot 0.632 \cdot 1080 \cdot 0.0083} \left( \frac{10}{0.0083 \cdot 17.62} \right) = 66.715 \text{ рад/с}$$

– скорость идеального холостого хода при заданном значении  $U_{3c} = 10\text{В}$   
и  $I = 0$ , рад/с;

$$\omega_{зад}(U_{3c}) = \frac{U_{3c}}{k_H \cdot 2 \cdot C} \text{ – заданное значение скорости электропривода, рад/с;}$$

$$\Delta\omega(U_{3c}) = \omega_{зад}(U_{3c}) - \omega_0(U_{3c}) = \left( \frac{1}{k_H \cdot 2 \cdot C} - a_1 \right) U_{3c} \text{ – статическая ошибка}$$

замкнутой системы электропривода по управлению, рад/с;

$$\Delta\omega_{раз}(I) = \frac{R_{яц} \cdot I_{я}}{2 \cdot C} \text{ – статизм электромеханической характеристики разо-}$$

мкнутой системы Г-Д, рад/с.

### Режим стабилизации тока

При насыщении регулятора напряжения система автоматического управления привода переходит в режим стабилизации (ограничения) тока.

Структурная схема для этого режима представлена на рисунке 15.

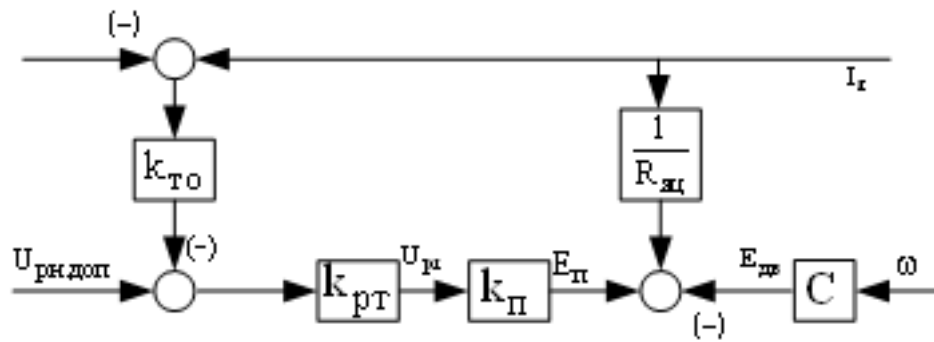


Рисунок 15. Структурная схема в режиме стабилизации скорости

Для приведенной схемы запишем систему уравнений:

$$E_{\text{п}} = (U_{\text{рн.доп}} - (2I_{\text{я}} - I_{\text{отс}}) \cdot k_{\text{от}}) \cdot k_{\text{рТ}} \cdot k_{\text{п}};$$

$$E_{\text{дв}} = 2C \cdot \omega;$$

$$I_{\text{я}} = (E_{\text{Г}} - E_{\text{дв}}) / R_{\text{яц}},$$

где  $I_{\text{я}} > I_{\text{отс}}$ .

Решив приведенную систему уравнений относительно тока, получим выражение характеристики  $I_{\text{я}}(\omega)$  привода в режиме ограничения тока:

$$I_{\text{я}}(\omega) = \frac{(U_{\text{рн.доп}} + k_{\text{то}} \cdot I_{\text{отс}}) \cdot k_{\text{рТ}} \cdot k_{\text{п}}}{R_{\text{яц}} + k_{\text{то}} \cdot k_{\text{рТ}} \cdot k_{\text{п}}} - \frac{2C \cdot \omega}{R_{\text{яц}} + k_{\text{то}} \cdot k_{\text{рТ}} \cdot k_{\text{п}}} =$$

$$= I_{\text{стоп}} - \Delta I_{\text{я}}(\omega) = I_{\text{стоп}} - b_2 \cdot \omega,$$

где

$$I_{\text{стоп}} = \frac{(U_{\text{рн.доп}} + k_{\text{то}} \cdot I_{\text{отс}}) \cdot k_{\text{рТ}} \cdot k_{\text{п}}}{R_{\text{яц}} + k_{\text{то}} \cdot k_{\text{рТ}} \cdot k_{\text{п}}} = \frac{(10 + 0.008019 \cdot 3960) \cdot 3.9 \cdot 1086}{0.03283 + 0.008019 \cdot 3.9 \cdot 1086} = 5180 \text{ А.}$$

ток стопорения привода при  $\omega = 0$  [12].

### Статические характеристики

Статические характеристики представлены на рисунке 16. Характеристики в область между током стопорения и током отсечки находим графически из условия:

$$\omega = \omega_{\text{зад}} - \Delta\omega_{\text{нас}};$$

$$I = I_{\text{стоп}} - b_2 \cdot \omega.$$



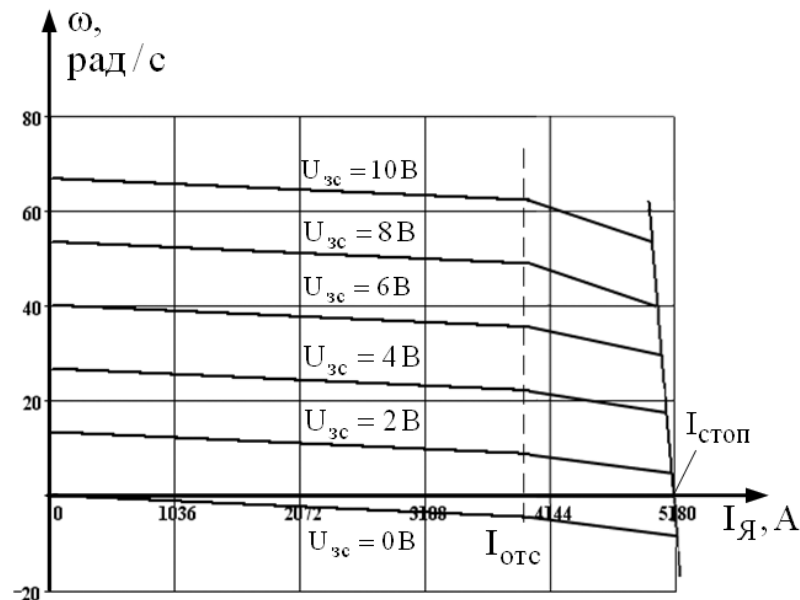


Рисунок 16. Статические характеристики электропривода подъема

## 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела работы является экономическое обоснование проектирования электропривода и электрооборудования механизма подъема шагового экскаватора ЭШ 20/90.

Задачи раздела:

- Составить план научно – исследовательской работы и определить расходы на проектирование;
- Определить исполнителей работ;
- Рассчитать смету затрат на НИР.

Область возможного применения: отдаленные открытые горные разработки (разрезы) угольной промышленности.

### 5.1. Планирование научно-исследовательских работ

В данном разделе необходимо определить основные виды работ, назначить участников для каждой работы, рассчитать время, требуемое для выполнения каждой работы и в конце построить график проведения научного исследования.

## Определение трудоёмкости работ

Определение трудоёмкости выполняемых работ зависит от множества факторов. Учет всех факторов практически невозможен, поэтому используется ожидаемая трудоёмкость, рассчитываемая по формуле (1).

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоёмкость выполнения какой-либо работы;

$t_{\text{mini}}$  – минимальная трудоёмкость при выполнении какой-либо работы.

$t_{\text{max}i}$  – максимальная трудоёмкость при выполнении какой-либо работы.

После этого определяем продолжительность какой-либо работы в рабочих днях  $T_{pi}$ .

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{\Psi_i}, \quad (2)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность работы в рабочих днях;

$t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоёмкость выполнения какой-либо работы;

$\Psi_i$  – количество исполнителей, которые выполняют одну и ту же работу на данном этапе [13].

Рассчитанная ожидаемая трудоемкость каждой из работ по проектированию приведена в приложении 8.

### 5.2. Разработка графика проведения научного исследования

Для построения графика Ганта будем использовать рабочие дни.

Перевод из рабочих дней в календарные осуществляем по формуле (3).

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности учитывает количество выходных и праздничных дней и рассчитывается по формуле (4):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году ( $T_{\text{кал}} = 365$ );

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году ( $T_{\text{вд}} = 52$ );

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году ( $T_{\text{пд}} = 14$ ).

Значения для каждой работы представлены в прил таблице 4.

Пример расчета для инженера (подбор и изучение материалов по теме):

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел} - \text{дней};$$

$$T_p = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня};$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22;$$

$$T_k = 2 \cdot 1,22 = 2,44 \approx 3 \text{ дня}.$$

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ (см таблицу 8).

Таблица 8. Диаграмма Ганта.

Продолжительность работ, дни																
Общее количество рабочих дней составило 175 дней																
Содержа- ние работ	3	5	15	7	13	5	9	7	23	17	9	7	8	26	21	
1	■															
2		■														
3			■													
4				■												
5					■											
6						■										
7							■									
8								■								
9									■							
10										■						
11											■					
12												■				
13													■			
14														■		
15															■	

Где РП – руководитель проекта

И-инженер

### 5.3. Смета научно-технического исследования (НТИ)

Смета научно-технического исследования складывается из следующих статей расходов:

- материальные расходы;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- амортизация;
- накладные расходы.

#### Материальные расходы

Стоимость материалов, используемых при разработке данного проекта, приведена в таблице 9.

Таблица 9. Материальные затраты на выполнение научного исследования

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Время работы, час	Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.
Канцтовары	Штук	5	200	–	1000
Электроэнергия	кВт.ч	440	2.28	1400	3192
<b>Итого:</b>					<b>4192</b>

Разработка графика проведения научного исследования показала, что на выполнение проекта необходимо 175 рабочих дней с восьмичасовым рабочим днем. Поэтому в расчете электроэнергии время работы 1400 часов при сетевой нагрузке компьютера, принтера и освещения ламп.

Материальные затраты на выполнение данного научно-технического исследования составляют 4192 рублей.

## Основная заработная плата

Расчет месячного должностного оклада работника производится по формуле (5):

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p \quad (5)$$

где  $Z_{mc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (30% от  $Z_{mc}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в научном исследовательском институте за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от  $Z_{mc}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (6):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m}{26} \quad (6)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле (7):

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (7)$$

где  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, рабочих дней;

В состав заработной платы входит основная заработная плата всех участников научного исследования, а также дополнительная заработная плата, которая составляет 12 – 20 % от основной заработной платы (8):

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (8)$$

Расчет заработной платы приведен в таблице 10. Пример расчета для руководителя:

$$Z_m = 25000 \cdot (1 + 0,3 + 0,5) \cdot 1,3 = 58500 \text{ руб.},$$

$$Z_{дн} = \frac{58500}{26} = 2250 \text{ руб.},$$

$$Z_{осн} = 2250 \cdot 175 = 394000 \text{ руб.},$$

$$Z_{zn} = 394000 + 59000 = 453000 \text{ руб.}$$

Таблица 10. Расчёт заработной платы

Исполнители	$Z_{мс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{доп}$ , руб.	$Z_{осн}$ , руб.	$Z_{zn}$ , руб.
Руководитель	25000	0,3	0,5	1,3	58500	2250	175	59000	394000	453000
Инженер	17000	0,3	0,5	1,3	39780	1530	175	40000	268000	308000
<b>Итого</b>									<b>761000</b>	

### Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата – это оплата за непроработанное время.

Дополнительная заработная плата рассчитывается с помощью коэффициента  $k_{доп}$  по формуле (9):

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (9)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15),

Расчет:

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot 394000 = 59000 \text{ руб (для руководителя),}$$

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot 268000 = 40000 \text{ руб (для инженера)}$$

### Страховые взносы во внебюджетные фонды

Данная статья расходов включает в себя обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам во внебюджетные фонды. К внебюджетным фондам относятся: фонд социального страхования (ФСС), пенсионный фонд (ПФ), федеральный фонд обязательного медицинского страхования (ФФОМС).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы (10):

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (10):$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Расчет:

$$Z_{внеб} = 0,3 \cdot (394000 + 59000) = 136000 \text{ руб (руковод.)}$$

$$Z_{внеб} = 0,3 \cdot (268000 + 40000) = 92000 \text{ руб (инж.)}$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2017 г. установлен размер страховых взносов равный 30%.

Расчет отчислений во внебюджетные фонды приведен в таблице 11.

Таблица 11. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	394 000	59 000
Инженер	268 000	40 000
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Руководитель	136 000	
Инженер	92 000	
Итого	228 000	

### Амортизация

Расчет амортизационных отчислений для полного восстановления основных фондов производится по нормам амортизации, утвержденным в порядке, установленном действующим законодательством, и определяется в зависимости от стоимости оборудования. Для проектирования требуется следующее оборудование:

Компьютер - 50000 рублей.



$$I_{ам} = \frac{T_{ис}}{T_{г}} \cdot \frac{1}{T_{сл}} \cdot C_{обор}$$

где  $T_{исп.}$  - время использования оборудования = 175 дней;

$T_{г}$  - количество использования в год (рабочие дни) = 244 дней;

$C_{обор.}$  - стоимость оборудования = 50000 руб.;

$T_{сл.}$  - срок службы оборудования = 5 лет.

Полный программный пакет КОМПАС-3D V17 – 80 тыс. руб.

$T_{г} = 365$  дней;

$C_{прогр.} = 80000$  руб.;

$T_{сл.} = 6$  лет.

Пример расчета:

$$A \text{ (компьютер)} = \frac{175}{244} \times \frac{1}{5} \times 50000 = 7170 \text{ руб.}$$

$$A \text{ (программа)} = \frac{175}{365} \times \frac{1}{6} \times 80000 = 6390 \text{ руб.}$$

$$A = 7170 + 6390 = 13560 \text{ руб.}$$

### Накладные расходы

Накладные расходы – это затраты, которые не попали в предыдущие статьи расходов. К ним относят: оплата электроэнергии, услуги связи, печать и ксерокопирование материалов и т.д. Величина накладных расходов определяется с учетом коэффициента  $k_{нр}$  по формуле (11):

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} = (Z_{м} + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб} + A) \cdot k_{нр} \quad (11)$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы (16%).

Расчет:

$$Z_{накл} = (2250 + 394000 + 59000 + 136000 + 13560) \cdot 0,16 = 96770 \text{ руб.}$$

-для руководителя проектом;

$$Z_{накл} = (1530 + 268000 + 40000 + 92000 + 13560) \cdot 0,16 = 66414 \text{ руб.}$$

-для инженера [14].

#### 5.4. Формирование сметы затрат научно-исследовательского проекта

После того как рассчитаны все статьи затрат научно-исследовательского проекта, можно сформировать окончательную смету затрат НТИ.

Структура сметы затрат НТИ представлена в таблице 12.

Таблица 12. Смета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Материальные расходы	4 192	0,4
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	662 000	56,6
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	99 000	8,4
4. Отчисления во внебюджетные фонды	228 000	19,5
5. Амортизация	13 560	1,1
6. Накладные расходы	163 190	14
7. Смета затрат НТИ	1 169 940	100

Осуществлено планирование работ, находящихся в рамках данного научного исследования, определены временные рамки и трудоемкость работ каждого из участников и составлен ленточный график проведения их работ в форме диаграммы Ганта. По результатам расчетов было установлено, что длительность работ для руководителя и инженера составило 175 рабочих день. Общий бюджет проекта НТИ составил 1189142 рубля, который складывается из расходов на заработную плату работников (761000 руб.), отчисления во внебюджетные фонды (228 000 руб.), материальные расходы (4192 руб.), амортизацию (13560 руб.) и накладные расходы (163190 руб.).

## **6. Безопасность и экологичность проекта**

Обеспечение безопасности труда и охраны окружающей среды является важнейшим необходимым условием любого технологического процесса. Это особенно важно в горнодобывающей промышленности, т.к. технологический процесс в данной отрасли обусловлен наличием множества вредных и опасных факторов оказывающих неблагоприятное воздействие на организм человека и окружающую среду.

В настоящее время на открытых горных работах основным средством механизации работ являются одноковшовые экскаваторы, эти машины применяются на карьерах чёрной и цветной металлургии, в промышленности строительных материалов, в угольной промышленности, а также на земляных работах крупных строительствах.

Экскаватор ЭШ-20/90 - экскаватор шагающий с длинной стрелы 90 м и ёмкостью ковша 20 м<sup>3</sup>, оснащён приводами большой мощности. Суммарная мощность электрических машин очень велика и достигает нескольких тысяч киловатт, что можно сопоставить с мощностью электрооборудования средних производственных предприятий.

Технологический процесс открытых горных работ включает в себя проведение буровзрывных работ и выемочно-погрузочных работ, сопровождаемых выделением большого количества пыли, вибрацией и шумами высокой и низкой частоты. Также следует отметить, что тяжёлые климатические и метеорологические условия определяют необходимость создания комфортного микроклимата в кабине машиниста.

### **6.1. Анализ опасных и вредных факторов**

К опасным факторам следует отнести:

- Опасность поражения электрическим током при проведении наладочных работ электроприводов механизмов;
- Опасность обвалов уступов;
- Опасность поражения скальными обломками при проведении буровзрывных работ.

К вредным факторам следует отнести:

- Выделение большого количества пыли;
- Вибрация;
- Шумы низкой и высокой частоты.
- Отклонение параметров микроклимата от нормируемых значений.
- Недостаточная освещенность.

### **Техника безопасности**

Существует система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих воздействие на работающих опасных производственных факторов.

Также следует отметить, что при проведении работ важное значение имеют организация и проведение инструктажа с обучением обслуживающего персонала правилам безопасного ведения работ.

### **Электрический ток**

Электрооборудование экскаватора относится к электроустановкам свыше 1000В, поэтому оно должно соответствовать ГОСТ 12.1.038–82 [15]. Все наладочные работы электропривода механизма подъема должны проводиться обслуживающим персоналом с группой допуска по электробезопасности не ниже третьей, в составе не менее двух человек, согласно ГОСТ 12.2.007-75 [16].

Вся низковольтная аппаратура управления главными и вспомогательными приводами, шаганием, тиристорные преобразователи для питания возбуждения электрических машин размещаются в шкафах, устанавливаемых в правой и левой стороны кузова экскаватора. Помещение кузова экскаватора относится к помещениям повышенной опасности.

Аппараты непосредственного управления процессами экскавации, а также вспомогательными механизмами, требующими дистанционного управления, расположены на пультах, устанавливаемых в правой и левой кабинах машиниста. Помещения левой и правой кабин относятся к помещениям повышенной опасности.

При устройстве, эксплуатации и ремонте электропривода механизма подъема должны соблюдаться требования действующих Правил устройства электроустановок (ПУЭ), Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ), Правил технической безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТБ). Правил пользования и испытания защитных средств, применяемых в электроустановках, Единых правил безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом (ЕПБ), Нормативов по защите электроустановок открытых горных разработок от атмосферных перенапряжений, Государственных и межотраслевых стандартов, заводских инструкций.

Для предотвращения случайного прикосновения к токоведущим частям все электрооборудование должно быть защищено от случайного соприкосновения с ним, а шкафы управления электроприводом имеют наземное заземление, подключенное к заземляющему устройству согласно ГОСТ 12.1.030 – 81 ССБТ.

При работах, связанных с опасностью поражения электрическим током, принимаются необходимые меры защиты. Весь электроинструмент перед применением проверяют на отсутствие замыкания на корпус. Для всего электрооборудования регулярно проверяется исправность заземляющего провода и изоляция питающих приводов. В электрической схеме электропривода механизма подъема предусмотрена защита потребителей от перегрузок и коротких замыканий [17].

### **Безопасность работ в забое**

Для безопасного ведения работ согласно ЕПБ на карьере проводятся следующие мероприятия:

- Отсыпка предохранительного вала в основании уступа и по верхней бровке, с целью предупреждения случайного обвала в опасной зоне работы горнотранспортной техники и людей;

- Производится расширение бермы данного горизонта за счет раз- носа борта. Не допускается скопление вод на транспортных разделах в целях ликвидации пониженных участков, где происходит накопление вод.

На руднике выполняются систематические визуальные обследования, инструментальные, маркшейдерские и геофизические наблюдения за состоя- нием устойчивости откосов уступов, предохранительных валов.

Согласно единым правилам безопасности ведения земляных работ к ра- бочей площадке экскаватора предъявляются следующие требования:

- Высота уступов не должна превышать максимальной высоты ко- пания экскаватора без применения взрывных работ, а при разработке крепких пород с применением взрывных работ -1,5 значения максимальной высоты ко- пания экскаватора;

- Разработка пластов допускается одним уступом до 30 м, а в от- дельных случаях, с разрешения органов Гостехнадзора до 40 м при условии взрывания уступов скважинами, пробуренными под углом 1,13 рад и регуляр- ной уборки уступа от повисей;

- Углы откосов рабочих уступов допускаются при работе механиче- ской лопаты до 1,4 рад, а крепких пород до 1,57 рад;

- Ширина рабочей площадки уступа должна обеспечивать размеще- ние экскаватора и транспортного оборудования за пределами призмы обруше- ния пород. Расстояние от подошвы развала до оси ближайшего железнодорож- ного пути должно составлять не менее 4м;

- Расстояние по горизонтали между рабочими экскаваторами, рас- положенными в двух смежных по вертикали уступах, должно составлять не менее одного максимального радиуса черпания экскаватора;

- Не допускается работа экскаватора под козырьками и повесами уступов.

Рассчитаем безопасную высоту забоя [18] из условия однородности уступа, конструктивных параметров экскаватора и технологии вскрышных работ.

Максимальная высота забоя экскаватора ЭШ 20/90 определяется по формуле:

$$H_{з.макс} = k_3 \cdot \sqrt[3]{m_{экс}} = 1.7 \cdot \sqrt[3]{1700} = 20.289 \text{ м,}$$

где  $k_3$  - коэффициент забоя, для экскаваторов  $k_3 = 1,7-1,8$ ;

$m_{экс}$  - конструктивная масса экскаватора,  $m_{экс} = 1700$  т; тогда

Максимальный радиус черпания экскаватора выбирается с учётом состава, состояния и размеров забоя.

Максимальный радиус черпания экскаватора ЭШ 20/90 составляет:

$$R_{ч.макс} = 88 \text{ м.}$$

Рассчитаем расстояние экскаватора от забоя по формуле:

$$R_з = (0.7 - 0.9) \cdot R_{ч.макс} = 0.7 \cdot 88 = 61.6 \text{ м,}$$

Определим расстояние экскаватора от транспортного состава по формуле:

$$R_{тр} = (0.7 - 0.9) \cdot R_{ч.макс} = 0.7 \cdot 88 = 61.6 \text{ м.}$$

### **Буровзрывные работы**

В перспективе проектом сохраняется на вскрышных работах вращательный способ бурения с применением станков шарошечного бурения. При выборе бурового оборудования учитываются физико-механические свойства пород и угля, применяемая система разработки и тип выемочного оборудования.

В качестве основного бурового оборудования на вскрышных работах приняты буровые станки 3 СБШ-200-60.

Проект работ поля разреза условно разделен на три технологические зоны с обособленной подготовкой и производством массовых взрывов в каждой. Для каждого экскаватора принят 15-суточный запас взорванной горной массы. В течение месяца на разрезе производятся 6 массовых взрывов (через

4-5 суток) поочередно в каждой технологической зоне (блоке) одновременно у 5-6 экскаваторов блока, т.е. в каждом блоке в течение месяца производится по два взрыва с интервалом в 4-15 суток.

На разрезе взрывы производятся по диагональной схеме взрывной сети. Рабочая сеть детонирующего шнура (ДШЭ-12) составит 8400 п.м., магистральная (ДША) – 2300 п.м. Расчет сейсмобезопасности производится по методике МГМИ. По воздушной волне безопасное расстояние составит 635м, по дальности разлета - 533 м.

Основные показатели БВР:

- Объём бурения - 3612м.
- Количество скважин - 168 шт.
- Объём взрываваемой горной массы - 71000м<sup>3</sup>.
- Выход горной массы с п.м. СКВ. - 19,65м.
- Удельный расход ВВ - 0,98 кг/м.
- Общий расход ВВ - 69384 кг.
- Капсюль детонаторы - 8 шт.
- Огнепроводный шнур - 20 п.м.
- Шашки Т-400 - 540 шт.
- КЗДШ- 123шт.
- Период замедления серий - 35 м/сек.
- Общее время замедления -1435 м/сек.
- Количество ВВ, взрываемого на серию -1680 кг.

Распорядок проведения массового взрыва:

Опасная зона для людей составит 600м, для оборудования - 250м, для сооружений - 250м.

Подача звуковых сигналов производится по распоряжению ответственного руководителя взрыва. Допуск взрывников для осмотра места взрыва после рассеяния пылегазового облака, но не ранее, чем через 30 минут после взрыва.



Допуск людей на взорванный блок не ранее чем через 24 часа после взрыва.

Место взрыва ограждается знаками "Опасно, газы" ответственным за подготовку территории опасной зоны взрыва.

Мероприятие по подготовке опасной зоны:

- Оповещаются соседние предприятия о производстве взрыва.
- Выводится оборудование из опасной зоны.
- Отключается электроэнергия, аппаратура удаляется в безопасное место.
- Удаляется внутрикарьерный транспорт за пределы опасной зоны.
- Демонтируется ж. д. тупик в опасной зоне взрыва.
- Производится расстановка постов оцепления, и люди удаляются за пределы опасной зоны.

## **6.2. Производственная санитария**

Большое значение для здоровья человека и для охраны его труда имеет соблюдение санитарно-гигиенических правил, что является обязательным для всех технологических процессов предприятия.

При нарушении норм производственной санитарии работающий может получить профессиональное заболевание, поэтому на предприятии должен производиться постоянный контроль соблюдения санитарно-гигиенических нормативов.

Существует система организационных технических средств, предотвращающих или уменьшающих воздействие на работающих вредных производственных факторов [16].

На условия ремонта и работы людей и карьерного оборудования существенно влияют климатические условия: низкие температуры воздуха, снежные заносы, метели, гололед, влажность, туманы, давление и т.д.

Кабины экскаватора утеплены, оснащены обогревателями, установлены кондиционеры что обеспечивает удобство работы и отдыха экипажа в

любое время года. При ремонтах возможно подключение в кузове экскаватора (машинное помещение) переносных обогревателей.

Экскаватор рассчитан для работы в диапазоне температур от  $+40^{\circ}\text{C}$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ , категория I, группа условий эксплуатации 5 по ГОСТ 15150-69.

### **Пыль**

Производственный процесс работы экскаватора сопровождается значительным выделением пыли. Для экскаватора ЭШ 20/90 удельное пылевыведение представлено в таблице 13.

Таблица 13. Удельное пылевыведение при работе в забое и на отвале

Наименование оборудования	Удельное пылевыведение ( $q_{\text{уд}}$ г/м <sup>3</sup> - для вскрышных пород) в зависимости от крепости пород $f$			
	2	4	6	8
ЭШ 20/90	14,1	19,7	27,9	41,8

Пыль - это мелкодисперсные частицы, которые образуются при погрузке и транспортировке. Проникая в организм человека при дыхании и через поры кожи, пыли могут вызывать профессиональные заболевания. Неядовитые пыли, воздействуя на организм, раздражают кожу, слизистые оболочки, конъюнктиву глаза, а проникая в лёгкие, вызывает профессиональные заболевания - пневмонии, в основе которых лежат органические изменения в лёгких и снижение их функциональной способности, что приводит к кислородному голоданию всего организма.

Вредность воздействия зависит от количества вдыхаемой пыли, степени её дисперсности, формы пылинок, их электрического заряда, от химического состава и растворимости. Пыли, взвешенные в воздухе, называются аэрозолями, они образуются при дроблении твёрдого вещества и в значительной мере состоят из пылинок больших размеров неправильной формы (в виде обломков), а также из паров металлов.

Глубоко в лёгкие проникают пылинки размером от 1 до 10 мкм, более мелкие выдыхаются обратно, а более крупные задерживаются в носоглотке.

Нетоксичные пыли, кроме того, могут адсорбировать ядовитые или радиоактивные вещества, приобретать электрический заряд, что увеличивает их вредное воздействие.

Согласно [16] установлены предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны, приведенные в таблице 14.

Таблица 14. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) некоторых вредных веществ в атмосферном воздухе

Вещество	Класс опасности	ПДК <sub>МР</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>СС</sub> , мг/м <sup>3</sup>
Оксид углерода (СО)	4	5	3
Аммиак (NH <sub>3</sub> )	4	0,2	0,04
Ксилол (С <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )	3	0,2	-
Оксид азота (NO)	3	0,4	0,06
Диоксид серы (SO <sub>2</sub> )	3	0,5	0,05
Толуол (С <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )	3	0,6	-
Сероводород (H <sub>2</sub> S)	2	0,008	-
Хлор (Cl <sub>2</sub> )	2	0,1	0,03

В качестве основной меры защиты людей от вредного воздействия пыли применяется специальный транспорт для увлажнения грунта. Также в кабине машиниста и на всём внутрикарьерном транспорте устанавливаются кондиционеры.

Таким образом обеспечивается очистка воздуха рабочего места и воздуха рабочей зоны от пылегазовых вредных примесей.

### **Шум**

Защита от производственного шума в настоящее время имеет большое значение, т.к. шум неблагоприятно воздействует на организм человека, вызывает физиологические нарушения, снижает работоспособность и создаёт предпосылки для общих профессиональных заболеваний и производственного травматизма.

Нормативным документом, регламентирующим уровни шума различных категорий рабочих мест является ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ [19].

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах следует принимать: для широкополостного постоянного и непостоянного (кроме импульсного) шума приведены в приложении 9.

Рабочие зоны с уровнем звука выше 80 Дб должны быть обозначены в соответствии с [19]. Людей, работающих в этих зонах администрация должна снабжать средствами индивидуальной защиты [16].

Наиболее рациональной борьбой с шумом является уменьшение его в источнике, а также применение различных шумоизолирующих и шумопоглощающих материалов.

На экскаваторах для снижения уровня шумов применяются различные звукоизолирующие устройства в виде кожухов, закрывающих электрические машины и аппараты.

### **Вибрация**

В соответствии с [19] под вибрацией понимается движение точки или механической системы, при котором происходит поочерёдное возрастание и убывание во времени значений, по крайней мере, одной координаты.

Для общей вибрации нормы вибрационной нагрузки на оператора установлены для категорий вибрации и соответствующих им критериям оценки в приложении 10.

При длительном воздействии вибрации на человека нарушается деятельность вестибулярного аппарата, что приводит к виброболезни.

Поэтому защита от вибраций работающих является одним из необходимых пунктов санитарно-гигиенических норм, соблюдение которых обеспечивает безопасность проведения работ.

Для уменьшения влияния вибрации на поворотной платформе экскаватора все крупные электрические машины устанавливают на виброгасящие фундаменты. Массу фундамента подбирают таким образом, чтобы амплитуда

колебаний подошвы фундамента не превышала 0,1 - 0,2 мм. Расчёт фундамен- тов ведут по [19]. Фундаменты имеют сварную конструкцию из стальных ли- стов. Также для уменьшения вибрации необходимо производить тщательную центровку и уравнивание оборудования, которое вызывает вибрации.

Для индивидуальной защиты от вибрации и сотрясений, передаваемых телу человека через ноги, рекомендуется ношение обуви на войлочной или толстой резиновой подошве.

Периодично следует проводить измерения вибраций прибором ВШВ-1 согласно [19].

### **6.3. Пожарная безопасность**

Согласно ПЭУ категория помещения ПШ.

Соблюдение правил противопожарной безопасности является важным условием нормальной эксплуатации оборудования и выполнения технических требований. Требования противопожарной безопасности для промышленных предприятий, указанные в [18], должны соблюдаться неукоснительно.

По огнестойкости помещение поворотной платформы экскаватора от- носится к трудносгораемым, первой степени огнестойкости, т.к. основные конструкции металлические [18].

Основными причинами возникновения пожара могут быть:

- неисправность электропроводки и электрооборудования;
- неисправное хранение и применение горючесмазочных материа- лов;
- неосторожное обращение с открытым огнём.

К техническим мероприятиям предотвращения пожара, проводимым на участках относятся:

1. Инструктаж по правилам пожарной безопасности согласно ППБ-001- 93 вновь и регулярно всех работающих на карьере;

2. Обеспечение машинного зала первичными средствами пожаротуше- ния в состав которых входят:

- сухой песок в ящике;
- лопаты и багры с деревянными ручками;
- огнетушители углекислотные ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8 и порошковые ОП-8У, которые пригодны для тушения электропроводки и электрооборудования находящиеся под напряжением.

План эвакуации изображен на рисунке 17.



Рисунок 17. План эвакуации при пожаре

#### 6.4. Охрана окружающей среды

##### Горнотехническая рекультивация

Рекультивация нарушенных земель на карьерах является частью проблемы рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды при ведении открытых горных работ. Комплексный характер рекультивационных работ требует привлечения специалистов различного профиля, которые по-разному подходят к решению поставленных задач.

По данным многих специалистов, при восстановлении нарушенных земель можно добиться создания более плодородных участков как за счет применения орошения, удобрений и других агротехнических приемов, так и за счет селективного формирования высокоплодородного почвенного горизонта.

В основу теории рекультивации нарушенных земель должна быть положена концепция пространственной локализации и нейтрализации вредных воздействий открытых горных работ на окружающую среду и создания условий для активного самовосстановления с использованием плодородных почв, предварительно снимаемых с земель горного отвода. Основным фундаментом проведения рекультивационных работ является селективное и направленное формирование оптимальных горнопромышленных ландшафтов для заданного народнохозяйственного назначения.

Из-за значительного роста добычи полезные ископаемые вынимаются наиболее экономичным открытым способом. Поэтому к технологии горных работ наряду с экономичностью и безопасностью должны предъявляться следующие требования по рациональному использованию земель:

- добыча полезных ископаемых должна быть менее землеемкой. Удельная землеемкость  $P$  равная отношению площади, занятым горным предприятием  $S$ , к количеству открытого полезного ископаемого  $Q$ :

$$\blacksquare P = S / Q, \text{ м}^2/\text{м}^3 (\text{м}^2/\text{Г})$$

- в процессе строительства карьера и эксплуатации карьера режим нарушения и восстановления земель должен быть более благоприятным, т. е. разрыв во времени между нарушением и восстановлением должен быть минимальным;

- формирование выработанного пространства и отвалы пустых пород должны отвечать требованиям рекультивации согласно принятого направления дальнейшего использования земель после восстановления.

При бестранспортной технологии (экскаваторно-отвальных комплексах), когда породы вскрыши перемещаются во внутренние отвалы экскаваторами с большими линейными параметрами, независимо от схемы экскавации проводится селективная разработка потенциально плодородных пород и укладка их в верхний ярус внутренних отвалов. Плодородный слой почвы уби-

рается с опережением с использованием различного оборудования, штабелируются бульдозерами или драглайнами и из штабелей грузится погрузчиком или экскаватором в автосамосвал и транспортируется во временный склад или непосредственно на рекультивируемую поверхность внутреннего отвала. Планировка отвала осуществляется бульдозерами.

### **6.5. Защита в чрезвычайных ситуациях**

Наиболее распространенными являются аварии на угольных шахтах, где фиксируется основное количество аварий среди горных предприятий, являются взрывы горючего газа и угольной пыли, пожары от самовозгорания угля и от внешних источников тепла, обрушения горных пород, внезапные выбросы горных пород и газа, горные удары, прорывы в действующие горные выработки воды и пульпы.

#### **Пожары**

На долю пожаров приходится до 50% всех аварий на шахтах и рудниках. Они сопровождаются большими экономическими потерями, затраты на их ликвидацию достигают 95% затрат на ликвидацию всех аварий на горных предприятиях. Смертельный травматизм составляет 0.6% всего травматизма на угольных шахтах и 0.2-0.4 на рудниках. Кроме того пожары становятся инициаторами взрывов пылегазовоздушных смесей, повышая уровень травматизма до 0.9% .

#### **Взрывы пыли и газа**

Взрывчатыми являются смеси горючих газов с воздухом (метан 5,3-14%, этан 3,2-12,5%, ацетилен 3-65%), аэрозоли угольной, сульфидной, серной и другой пыли (табл.6.1). Взрывчатость угольной пыли зависит от значительного числа факторов, среди которых можно выделить основные: выход летучих  $V^r$  зольность  $A^c$ , влажность  $W$  и минимальное пылеотложение  $\Pi$ . Степень взрывчатости угольной пыли ориентировочно можно определить по таблице 15.



Таблица 15. Взрывчатость угольной пыли

Параметр	Степень взрывчатости		
	I (малая)	II (средняя)	III (высокая)
выход летучих $V^r$ , %	<10	10-15	>15
зольность $A^c$ , %	>60	>30	<15
влажность $W$ , %	>30	15-30	<15
минимальное пылеотложение П, г/м <sup>3</sup>	П	П	>П

### **Динамические и газодинамические явления**

Провалы земной поверхности на поверхности и под землей. Среди причин деформации различают природные (карст, естественные полости и пустоты, снижение уровня подземных вод и др.) и техногенные (горные работы и добыча полезных ископаемых, освоение поверхности и др.). Опасными факторами являются обрушение пород поверхности, горизонтальные деформации поверхности с образованием трещин.

### **Осыпи и обвалы. Обрушения пород.**

Быстрое смещение масс несвязанных отдельностей горных пород с крутых склонов и откосов в форме обвалов, камнепадов, вывалов и осыпей возникает под действием выветривания и длительной ползучести пород, роста сдвигающих усилий при сейсмических и вибрационных воздействиях, давлении воды (гигроскопического и гидродинамического), ветровой и снеговой нагрузки, техногенных факторов (буровзрывные работы, эксплуатация машин, механизмов, средств транспорта, подрезка склонов и т.д.)

### **Выбросы пород и газа**

Выбросы пород и угля, обрушения могут быть сопутствующими явлениями при пожарах в подземных выработках и сопровождаться их загазированием природными (метан, углекислый газ, водород) или пожарными (окись углерода, серные и азотные газы) газами. При этом могут оказаться разрушенными системы жизнеобеспечения (вентиляционные сооружения и пр.). Различают региональные и локальные способы профилактики этих явлений. В

первую группу входят опережающая обработка защитных пластов, дегазация, гидрорасчленение и увлажнение пород. Ко второй группе относятся увлажнение и «рыхление» пород, гидровывывание и гидроотжим пород; разгрузка опережающими скважинами, пазами, щелями и пр.; торпедирование массива, сотрясательное взрывание; применение защитных устройств.

## **Заключение**

Разработанный электропривод механизма подъема одноковшового экскаватора ЭШ 20/90 может полностью удовлетворить все технические требования и особенности технологического процесса.

Применение системы автоматического управления регулируемого электропривода (САУ РЭП) по двухконтурной схеме подчиненного регулирования с использованием П-регуляторов позволило построить семейство экскаваторных механических характеристик при различных режимах работы одноковшового экскаватора драглайна ЭШ 20/90, (а именно механизма подъема, тяги и вертикально спадающую характеристику при минимальном времени переходных процессов (см. рисунок 1)), а также дало возможность настраивать коэффициенты заполнения и отсечки.

Осциллограммы, полученные в программной среде MATLAB, показали, что статическая система работает правильно, и близка к показателям систем, настроенных на модульный оптимум.

Погрешность статической системы в поддержании скорости при максимальной нагрузке находится в пределах допустимых значений, а при работе на холостом ходу ошибка по скорости близка к нулю.

Электропривод механизма подъема одноковшового экскаватора драглайна ЭШ 20/90 обеспечивает работу в повторно-кратковременном режиме (S3) с переменной нагрузкой реактивного характера; минимальное время реверсирования не более пяти секунд и достаточно широкий диапазон регулирования.

## Список используемой литературы

1. Ключев В.И. Теория электропривода.-М/. Энергоатомиздат, 1998.-704С.
2. Чулков. Н.Н. Расчет приводов карьерных машин.-М.: Недра, 1987.-196с.
3. Носырев М.Б., Карякин А.Л. Расчеты и моделирование САУ главных электроприводов одноковшовых экскаваторов. Учебное пособие.-Свердловск, изд. СГИ им. ВахрушеваД1987.-88с.
4. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока.-Томск, изд. ТПИ, 1991.-104с.
5. Панкратов С.А. Конструкция и основы расчета главных узлов экскаваторов и кранов.-М.: Машиностроение, 1962.-540с.
6. Сотников Л.Я. Укрупненный инженерный расчет экскаваторов.- Воронеж, 1973.
7. Сатовский Б.И., Ярцев Н.Г. и др. Современные карьерные экскаваторы.- М.: Недра, 1971.-480с.
8. Мартынов М.В., Переслегин Н.Г. Автоматизированный электропривод в горной промышленности.- М.: НедраД 977.-375с.
9. Бариев Н.Б. Электрооборудование одноковшовых экскаваторов.- М.: Энергия, 1980.-296С.
10. Бариев Н.Б. Электрооборудование и электропривод одноковшовых экскаваторов.- М.: НедраД 970.-248с.
11. Егурнов Г.П., Рейш А.К. Одноковшовые экскаваторы.- М.: НедраД 969.-472с.
12. Вуль Ю.Я., Ключев В.И., Седанов Л.В. Наладка электроприводов экскаваторов.- М.: Недра, 1975.-312с.
13. Лукичева Л.И. Управление организацией. – М.:ОМЕГА-Л, 2005.-360с.

14. Бовин А.А. Управление инновациями в организации.-М.:ОМЕГА-Л,2009.-415с.
15. ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений.
16. ГОСТ 12.2.007-75. Безопасность труда при работе на электрооборудовании и электроустановках.
17. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
18. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. - М.:Недра, 1987-96с.
19. ГОСТ 12.1.003 .-83 ССБТ. Шум, вибрация общие требования.

# Приложение 1

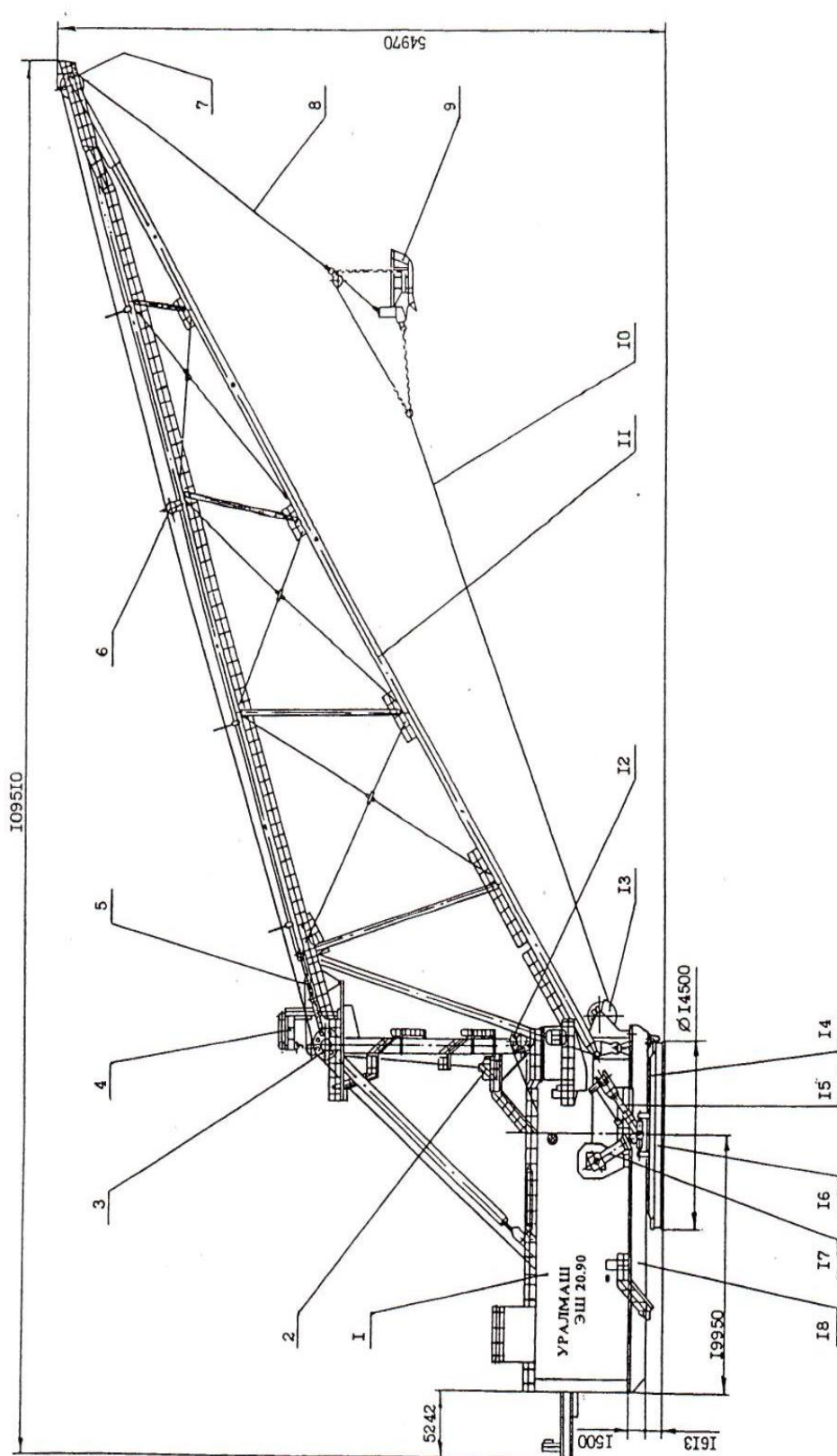


Рисунок 18. Общий вид экскаватора

- 1.Кузов; 2.Лебедка подъема стрелы; 3.Блоки подъемных канатов; 4.Кран поворотный; 5.Подвеска стрелы; 6. Устройство поддерживающее; 7.Блоки головные; 8.Канаты подъемные; 9.Ковш; 10.Канаты тяговые; 11.Стрела; 12.Блоки тяговых канатов; 13.Блоки

## Приложение 2

Таблица 16. Технические данные экскаватора ЭШ 20/90

Экскаватор в целом	
Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	20
Длина стрелы, м	90
Угол наклона стрелы, град	32
Наибольший радиус выгрузки, м	83
Наибольшая высота выгрузки, м	38,5
Наибольшая глубина копания, м	42,5
Радиус вращения хвостовой части, м	19,7
Просвет под поворотной платформой, м	1,61
Среднее удельное давление на грунт при шагании, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,24(2,4)
Среднее удельное давление на грунт при работе, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,115(1,15)
Максимальный преодолеваемый подъем или уклон при передвижении, град	7
Максимальный допустимый угол крена при передвижении, град	3
Допустимый угол наклона экскаватора при работе, град	2
Скорость передвижения, м/час	80
Длина шага, м	2
Диаметр опорной рамы, м	14,5
Наибольшая масса груженого ковша, т	63
Масса экскаватора без противовеса, запчастей и приспособлений, т	1645
Мощность сетевого двигателя, кВт	2500
Напряжение подводимого тока при частоте 50.герц, в	6000
Расчетная продолжительность цикла при повороте на 120 град. и концевом проходе, при средней глубине копания до 25м в грунтах I категорий, сек	60
Расчетная производительность в грунтах I категории, м <sup>3</sup> /час	965
Подъемная и тяговая лебедки	
Мощность электродвигателя, кВт	1120
Номинальное число оборотов, об/мин	630
Число электродвигателей, шт	2
Диаметр барабана, м	1,8
Диаметр каната, мм	64
Скорость подъема ковша, м/сек	2,64
Передаточное число лебедки	22,53

### Приложение 3

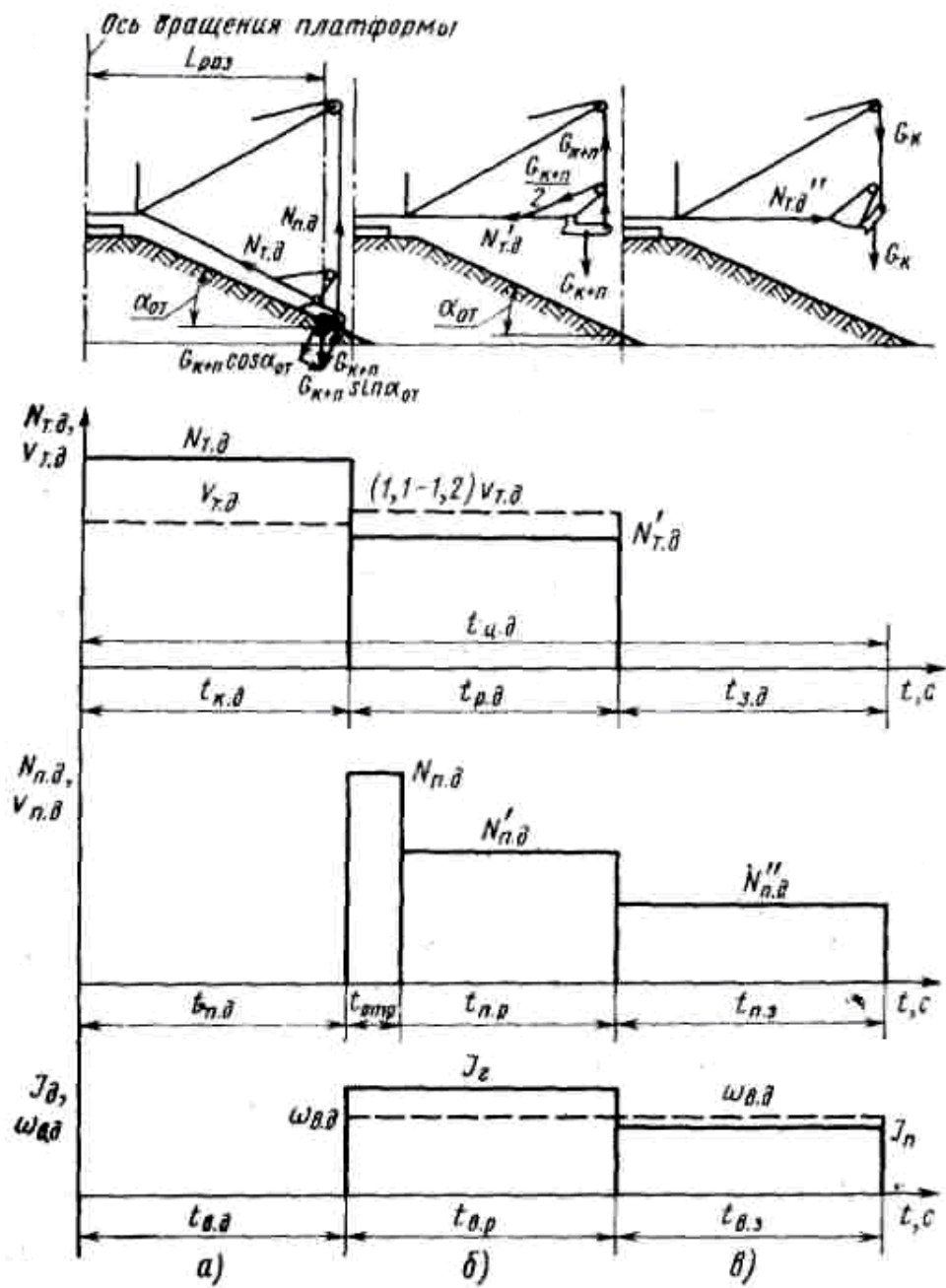


Рисунок 19. Схемы работы драглайна (а - копания; б - поворота грузного ковша на разгрузку; в - поворот порожнего ковша на разгрузку; в - поворота порожнего ковша к забою) и диаграммы нагрузки (сплошная линия) и скорости (пунктирная линия) главных механизмов



## Приложение 4

Таблица 17. Паспортные параметры двигателя МПЭ-1120-630 УЗ.

№ п.п.	Наименование параметра, размерность	Обозначение	Данные
1.	Номинальная мощность, кВт	$P_H$	1120
2.	Номинальное напряжение, В	$U_H$	600
3.	Номинальный ток, А	$I_H$	1980
4.	Номинальный момент, $\dot{I} \cdot \dot{i}$	$M_H$	16977
5.	Номинальная скорость вращения, об/мин	$n_H$	630
6.	Максимальная скорость при ослаблении потока, об/мин	$n_{МАКС}$	1000
7.	Момент инерции, $т \cdot м^2$	$J_{ДВ}$	134
8.	Перегрузочная способность по току, А: $I_{МАХ}, I_{СТОП}$	$2.5 \cdot I_H$ $2.75 \cdot I_H$	4950 5445
9.	Номинальный КПД, %	$\eta_H$	94.4
10.	Номинальное напряжение возбуждения, В	$U_{ВН}$	141
11.	Номинальный ток возбуждения, А	$I_{ВН}$	39
12.	Ток возбуждения при максимальной скорости, А	$I_{В.МИН}$	15
13.	Сопротивление обмотки якоря при $+15^\circ C$ , Ом	$R_{ОЯ}$	0.00394
14.	Сопротивление обмотки добавочных полюсов при $+15^\circ C$ , Ом	$R_{ДП}$	0.00102
15.	Сопротивление компенсационной обмотки при $+15^\circ C$ , Ом	$R_{КО}$	0.00239
16.	Сопротивление обмотки возбуждения при $+15^\circ C$ , Ом	$R_{ОВ}$	2.7
17.	Число полюсов	2р	6
18.	Число параллельных ветвей обмотки якоря	2а	3
19.	Число витков обмотки возбуждения на полюс	$W_B$	226

## Приложение 5

Таблица 18. Расчетные параметры электродвигателя МПЭ-1120-630 УЗ.

№ п.п	Наименование расчетного параметра, размерность	Расчетная формула, обозначение	Данные
1.	Сопротивление двигателя (цепи якоря) при $+15^{\circ}C$ , Ом	$R_{ДВ} = R_{ОЯ} + R_{ДП} + R_{КО}$	0.00735
2.	Сопротивление двигателя горячее (перегрев $+75^{\circ}C$ ), Ом	$R_{ДВ.ГОР} = 1.3 \cdot R_{ДВ}$	0.00956
3.	Номинальная угловая скорость вращения, рад/с	$\omega_H = \frac{\pi}{30} \cdot n_H$	65.97
4.	Максимальная угловая скорость вращения при ослабленном поле, рад/с	$\omega_{MAX} = \frac{\pi}{30} \cdot n_{MAX}$	104.7
5.	Коэффициент ЭДС ( $B \cdot c / рад$ ) и электромагнитного момента ( $H \cdot м / А$ ) при номинальном потоке возбуждения	$c = k_{ДВ} \cdot \Phi_{ДВ.Н} = \frac{U_H - I_H \cdot R_{ДВ.ГОР}}{\omega_H}$	8.81
6.	Индуктивность двигателя (цепи якоря), Гн	$L_{ДВ} = \gamma \cdot \frac{U_H}{I_H} \cdot \frac{1}{p \cdot \omega_H}$	0.000153 $\gamma = 0.1, \quad p = 3$
7.	Сопротивление обмотки возбуждения при последовательном включении, горячее, Ом	$R_{В.ГОР} = \frac{U_{ВН}}{I_{ВН}}$	3.62

## Приложение 6

Таблица 19. Паспортные параметры генератора ГПЭ-2500-750 ХЛЗ.

№ п.п.	Наименование параметра, размерность	Обозначение	Данные
1.	Номинальная мощность, кВт	$P_H$	2500
2.	Номинальное напряжение, В	$U_H$	1200
3.	Номинальный ток, А	$I_H$	2083
4.	Номинальная скорость вращения, об/мин	$n_H$	750
5.	Момент инерции, $\text{т} \cdot \text{м}^2$	$J_{ДВ}$	880
6.	Перегрузочная способность по току, А: $I_{МАХ}$ $I_{ОТКЛ}$	$2 \cdot I_H$ $2.75 \cdot I_H$	4166 5728
7.	Номинальный КПД, %	$\eta_H$	95
8.	Номинальное напряжение возбуждения, В	$U_{ВН}$	100
9.	Номинальный ток возбуждения, А	$I_{ВН}$	68
10.	Сопротивление обмотки якоря при $+15^\circ \text{C}$ , Ом	$R_{ОЯ}$	0.00497
11.	Сопротивление обмотки добавочных полюсов при $+15^\circ \text{C}$ , Ом	$R_{ДП}$	0.00074 5
12.	Сопротивление компенсационной обмотки при $+15^\circ \text{C}$ , Ом	$R_{КО}$	0.00327 9
13.	Сопротивление противокомпаудной обмотки при $+15^\circ \text{C}$ , Ом	$R_{ПК}$	0.00010 1
14.	Сопротивление обмотки возбуждения при $+15^\circ \text{C}$ , Ом	$R_{ОВ}$	1.044
15.	Число витков обмотки возбуждения на полюс	$W_B$	153
16.	Номинальный магнитный поток на полюс, мВб	$\Phi_H$	222
17.	Число полюсов	$2p$	6

## Приложение 7

Таблица 20. Расчетные параметры генератора ГПЭ-2500-750 ХЛЗ.

№ п.п	Наименование расчетного параметра, размерность	Расчетная формула, обозначение	Данные
1.	Сопротивление генератора (цепи якоря) при $+15^{\circ}C$ , Ом	$R_{\Gamma} = R_{OЯ} + R_{ДП} + R_{КО} + R_{ПК}$	0.00909
2.	Сопротивление генератора горячее (перегрев $+75^{\circ}C$ ), Ом	$R_{\Gamma.ГОР} = 1.3 \cdot R_{\Gamma}$	0.0118
3.	Номинальная угловая скорость вращения, рад/с	$\omega_H = \frac{\pi}{30} \cdot n_H$	78.5
4.	Коэффициент ЭДС генератора ( $B \cdot c / рад$ )	$c = k_{\Gamma} \cdot \Phi_{\Gamma.H} = \frac{U_H - I_H \cdot R_{\Gamma.ГОР}}{\omega_H}$	14.97
5.	Индуктивность генератора (цепи якоря), Гн	$L_{\Gamma} = \gamma \cdot \frac{U_H}{I_H} \cdot \frac{1}{p \cdot \omega_H}$	0.0004892 $\gamma = 0.2$ , $p = 3$
6.	Сопротивление обмотки возбуждения при последовательном включении, горячее, Ом	$R_{B.ГОР} = \frac{U_{BH}}{I_{BH}}$	1.47
7.	Максимальное значение индуктивности основного потока обмотки возбуждения на линейном участке кривой намагничивания, Гн	$L_{BF.МАКС} = 2p \cdot W_{BF} \frac{\Delta\Phi}{\Delta I_{BF}}$	6.61 Гн
8.	Индуктивность потока рассеяния обмотки возбуждения, Гн	$L_S = 2p \cdot W_{BF} \frac{0.7 \cdot 0.18 \cdot \Phi_H}{I_{BH}}$	0.378 Гн

## Приложение 8

Таблица 21. Типовое содержание проектных работ

Содержание работ	Трудоёмкость работ, чел/дни			Исполнители
	$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$	
1. Разработка ТЗ на проектирование	3	5	3	Р,И
2. Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	4	5	5	Р,И
3. Описание объекта автоматизации (модернизации)	13	20	15	Р,И
4. Кинематическая схема механизма	5	10	7	Р,И
5. Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	12	16	13	Р,И
6. Расчет мощности и выбор электродвигателя	3	5	5	Р,И
7. Выбор способа регулирования скорости	7	10	9	Р,И
8. Расчет предельных характеристик системы «преобразователь– электродвигатель»	5	10	7	Р,И
9. Разработка математической модели системы АУ ЭП	20	27	23	Р,И
10. Оптимизация САР электропривода	16	21	17	Р,И
11. Разработка программы имитационного моделирования	8	14	9	Р,И
12. Вопросы безопасности и экологичности проекта	6	10	7	Р,И
13. Технико-экономические расчеты	6	12	8	Р,И
14. Составление пояснительной записки	22	32	26	Р,И
15. Разработка графического сопровождения проекта	18	25	21	Р,И

Где Р-руководитель проекта, И-инженер.

## Приложение 9

Таблица 22. Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот.

Виды трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в Гц									Уровни звука, дБ
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Тракторы, самоходные шасси, самоходные, прицепные и навесные сельскохозяйственные машины, строительно-дорожные, землеройнотранспортные, мелиоративные и другие аналогичные виды машин										
Рабочие места водителей и обслуживающего персонала автомобилей	100	87	79	72	68	65	63	61	59	70
Рабочие места водителей и обслуживающего персонала (пассажиров) легковых автомобилей	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
Рабочие места водителей и обслуживающего персонала тракторов, прицепных и навесных сельскохозяйственных машин, строительно-дорожных, землеройнотранспортных и др	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Рабочие места в кабинках и салонах самолетов и вертолетов	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

## Приложение 10

Таблица 23. Нормы вибрационной нагрузки на оператора.

Категория вибрации по санитарным нормам и критерий оценки	Характеристика условий труда	Пример источников вибраций
1 безопасность	Транспортная вибрация, воздействующая на операторов подвижных самоходных и прицепных машин и транспортных средств при их движении по местности, агрофонам и дорогам, в том числе при их строительстве	Тракторы, сельскохозяйственные и промышленные, машины для обработки почвы, уборки и посева сельскохозяйственных культур; Автомобили, строительно-дорожные машины, в том числе бульдозеры, скреперы, грейдеры, катки, снегоочистители т.п.; самоходный горно-шахтный транспорт
2 Граница снижения производительности труда	Транспортно-технологическая вибрация, воздействующая на операторов машин с ограниченной подвижностью, перемещающихся только по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок и горных выработок	Экскаваторы, краны промышленные и строительные, машины для загрузки мартеновских печей; горные комбайны; шахтные погрузочные машины; самоходные бурильные каретки; путевые машины, бетоноукладчики; напольный производственный транспорт